

СЪДЪРЖАНИЕ

1. Литературен обзор

1.1 Анализ на конструкцията

1.2 Заваряемост на материалите в конструкцията

1.2.1 Нисковъглеродни стомани

1.2.2 Нисколегирани нисковъглеродни стомани

1.3 Методи за заваряване на машинни конструкции

1.3.1 Заваряване с обмазани електроди.

1.3.2 Подфлюсово заваряване

1.3.3 Заваряване в защитна газова среда

1.3.3.1 Заваряване по WIG – метод

1.3.3.2 Заваряване по MIG/MAG - метод

1.4 Пробеми при заваряване на машинни конструкции

2. Технологична част

2.1 Описание на конструкцията

2.2 Използвани материали в конструкцията

2.3 Заваръчни съединения

2.4 Анализ на възможните методи на заваряване и избор на метод на заваряване

2.4.1 Общи положения

2.4.1.1 Технически изисквания

2.4.1.2 Себестойност на заваряването

2.4.1.3 Изводи

2.4.2 Ръчно електродъгово заваряване с обмазани електроди

2.4.3 Аргондъгово ВИГ-заваряване

2.4.4 МИГ/МАГ-заваряване

2.4.5 Плазмено заваряване

2.4.6 Роботизирано заваряване

2.4.7 Избор на метод на заваряване

2.5 Технологични операции по подготовка на краищата

2.6 Режими на заваряване

2.7 Последователност на заваряване

2.8 Термообработка

2.9 Процедури

2.10 Изводи

3. Заключение

Литература

1. Литературен обзор

1.1 Анализ на конструкцията

Заварените конструкции се използват широко в почти всички отрасли на промишлеността, строителството и транспорта поради техните големи технико-икономически предимства. По своята същност заваряването е технологичен процес на окрупняване и монтаж на отделни елементи и възли в неразглобяеми конструкции, към които обикновено се поставят високи експлоатационни изисквания. Това налага рационално конструктивно оформяне на заварените изделия и прилагането на ефективни технологии за тяхното изработване. По такъв начин за да бъдат заварените конструкции качествени и ефективни, те трябва да са заварорационални и технологични.

Според съвременните представи една метална конструкция е технологична, ако отговаря на следните изисквания:

- да е рационално оразмерена и конструктивно оформена в зависимост от експлоатационните натоварвания при минимален разход на материали;
- да се изработва по високопроизводителни технологични методи;
- да е евтина;
- да дава възможност за контрол на готовите изделия;
- да отговаря на специфичните експлоатационни условия;

Заваряването създава изключително богати възможности за конструктивно оформяне на едно изделие. Същевременно технологичността на това изделие зависи от самата технология. На първо място, това изисква да се отчита въздействието на заваръчния технологичен процес върху свойствата на материала и конструкцията, което се отразява пряко върху носещата способност и другите експлоатационни свойства на заварените съединения.

Най-често заварените конструкции се разделят на четири групи: пълностенни, прътови, листови и машинни конструкции. Ще разгледаме по-подробно групата на машинните конструкции, към която и принадлежи разглежданият заварен възел.

Номенклатурата на машинните конструкции е доста обширна и трудно могат да бъдат обхванати всички детайли, части, възли и цели машинни изделия, които се получават чрез заваряване. Най-типични представители на тази група заварени конструкции са: заварени машинни детайли-оси, валове, лостове, теглича, зъбни колела, ремъчни шайби, барабани, опори и др.; корпусни заварени детайли-корпуси на редуктори, тела на лагери, тела на металорежещи и други металообработващи машини, съоръжения, корпусни части на хидравлични, газови и парни турбини и др.

Заварените машинни конструкции имат следните най-характерни конструктивно-технологични особености:

- в тях се използва много широк диапазон от материали с различна степен на заваропригодност – практически всички видове конструкционни материали;
- те използват различни видове заготовки – листови и профилни валцови продукти, изковки, щамповки, отливки, огънати елементи и др. За рационализиране на конструкциите се използват и комбинации от заготовки и тогава се говори за комбинирани конструкции – ковано-заварени, лято-заварени, щамповано-заварени, ковано-лято заварени, лято-щамповано-заварени и др.;
- в много случаи машинните детайли се оразмеряват от условията за устойчивост и неподатливост(а не за якост) и поради това работните напрежения в тях са значително под допустимите. Едновременно с това тези части трябва да поемат и динамични натоварвания, което изисква рационално проектиране с оглед избягването на концентрацията на напрежения;
- към заварените машинни изделия обикновено се поставят по-високи изисквания за точност. Тъй като остатъчните заваръчни напрежения водят с течение на времето до промяна в размерите и геометрията на детайлите, от голямо значение е тяхното отстраняване след заваряването. Поради това машинни детайли и части, които подлежат на механична обработка с висок клас на точност, трябва непосредствено след заваряването да се подложат на термообработка. В редки случаи, когато след заваряването не се очакват значителни напрежения и деформации, какъвто е случаят при електроннолъчевото заваряване, се допуска предварително обработените по механичен начин детайли да се заваряват в окончателен вид. Но дори при този метод на заваряване не винаги може да се постигне необходимата точност;
- в заварените съединения от някои видове материали се наблюдава релаксация на напреженията в доста продължителен период от време поради структурни изменения (разпадането на остатъчен аустенит). Те също са свързани с изменения на формата и размерите на частите. Това налага прилагането на различни технологични методи за ускоряване на релаксационните процеси преди влагането на частите в експлоатация.
- за машинните конструкции по-характерни са динамичните натоварвания. Това налага да се обърне особено внимание на изискванията за заварорационално конструиране от гледна точка на крехкото разрушаване и уморното поведение - необходимо е да се избягва прекалено големият брой шевове в една конструкция, да се облекчава напрегнатото състояние в заварената конструкция, като се избягват конструктивните надрези и сложното (тримерно) напрегнато състояние. Последното се постига чрез избягване натрупването на много шевове на едно място, избягване резките преходи в сеченията на елементите, да се предпочитат челните съединения пред ъгловите, Т-образните и съединенията чрез препокриване на краищата, шевове да се разполагат в най-слабо напрегнатите части на

конструкцията, да се предпочитат шевове с минимално възможно напречно сечение, да се избягва допълнителното огъване на вече заварените шевове;

- заварените корпусни части, например телата на металорежещите машини, имат, общо взето, по-лоша способност да гасят вибрациите, отколкото чисто летите части. Изискванията за повишена виброустойчивост могат да се удовлетворят чрез увеличаване коравината на конструкцията чрез оребвяване;
- характерна особеност на машинните конструкции е, че тяхното внедряване в промишлеността е свързано с голямо поевтиняване на производството, опростяване на технологичните процеси, замяна на скъпи материали с евтини;

Ще се спрем и на някои особености в технологията за изработване на машинните конструкции.

Многообразието на използваните конструкционни материали, на вида на заготовките, на конфигурацията и на предназначението на заваряваните части обуславят някои особености в производствената технология – особено в механичната и термичната обработка на детайлите.

Механичната обработка може да се провежда на различни стадии на технологичния процес. При някои детайли – зъбни колела, валове, оси, корпуси и др. тя се провежда след заваряването, тъй като точността, постигната след заваряването, не отговаря на техническите изисквания. В допуските на размерите трябва да се предвиди прибавка за заваръчните деформации и за механичната обработка. Тази технология осигурява голяма точност на размерите и формата, но за сметка на преразход на материал и удължаване на целия производствен цикъл. Ето защо тя е рационална в едросерийното и масово производство.

В други случаи механичната обработка се провежда преди заваряването, например когато е практически невъзможно (поради значителните размери на изделиято) да се извърши допълнително механично обработване и същевременно е важен точният монтаж на детайлите преди съединяването им.

В отделни случаи заготовките на детайлите, изискващи голяма точност на изработване, се подлагат на механична обработка преди и след заваряването. Обикновено с такива детайли и възли се изграждат сложни корпусни изделия, заварени валове и др.

Термичната обработка на заварените детайли и възли може да се провежда преди и след заваряването. Обикновено се прилага нормализиране и високотемпературно отвяряване (последователно или поотделно). След термообработката се постигат по-добри механични свойства, по-голяма пластичност и хомогенност на структурата и по-ниски остатъчни напрежения. Термообработката е особено полезна при лети и ковани заготовки. Термичната обработка е необходима за материали с удовлетворителна и ограничена заваряемост. При изработване на по-отговорни части и възли се практикува и комбинирана (механична и термична) обработка.

1.2 Заваряемост на материалите в конструкцията

За изработване на тела на металообработващи машини и фундаменти се използват стомани с добра заваропригодност и по изключение стомани с удовлетворителна заваряемост.

За второстепенни и слабонатоварени конструкции се препоръчват спокойни, полуспокойни и кипящи въглеродни стомани ВСт.2 и ВСт.3. В натоварени конструкции, работещи при температури до - 20°C, може да се използва стомана ВСт.Зсп.

Кипящите стомани се допускат при дебелина на листовия и фасонния продукт съответно до 20 и 16 мм. Полуспокойните стомани не бива да се влагат в конструкции, работещи при температури под - 5°C, както и за по-дебелостенни профили. Имайки предвид особеностите при обработката на кипящите (отчасти и полуспокойните) стомани, трябва да се прилага щателен контрол по отношение разпределението на въглерода, сярата и фосфора, както и слоистостта на структурата.

За отговорни заварени конструкции ней-често се препоръчват марките стомани 15, 20 и ВСт.Зсп и котлостроителните стомани 15К и 20К. Преди влагането им в конкретна конструкция трябва да се изпитат най-типичните за случая показатели на заваряемостта (особено склонност към крехко разрушаване при ниски температури).

За комбинирани лято-заварени конструкции най-подходящи са отливките от стомани 20Л и 25Л. Стоманите 30Л и 35Л не са подходящи за конструкции, които работят при вибрационни или динамични натоварвания, тъй като имат силно изявена структурна нееднородност на шевния и основния метал и поради това ниска граница на умора.

Изброените стомани са близки по свойства със строителните стомани по БДС EN 10 025 от типа S...JRG1(кипяща стомана), S...JRG2(полуспокойна стомана), S...JRG3(особеноспокойна и нормализирана(за листов материал) стомана). Например S235JR, S235JRG1, S235JRG1, S275JR и др.

За конструкции, работещи при отрицателни температури до -50°C и при променлива работна температура до 300-350°C се използват стоманите 09Г2, 10Г2С1, 10ХСНД, 15ХНВ и др. Те имат по-ниска преходна температура и топлоустойчивост при удовлетворителна заваряемост. Тези стомани са приблизителни свойства на стоманите по БДС EN 10113-3 и БДС EN 10149-2. Например S420ML, S460M, S460MC, S500MC и др.

Ще се спрем по-подробно на заваряемостта на тези две групи стомани – нисковъглеродни и нисколегирани нисковъглеродни стомани.

1.2.1 Нисковъглеродни стомани

Нисковъглеродните стомани се отличават с добра заваряемост. В същото време технологията за тяхното заваряване трябва да предвижда и осигурява определен комплекс от изисквания, основното от които е постигането на

равна на основния метал якост на заварения шев и отсъствието на дефекти в завареното съединение. За тази цел механичните показатели на метала на шева, околошевната зона и на завареното съединение като цяло трябва да бъдат не по-ниски от тези на основния метал. В редица случаи, изхождайки от конкретните условия на работа на конструкцията, се допуска понижаване на отделни механични показатели на завареното съединение под съответните за основния метал нива. В същото време в метала на шева не трябва да се допускат такива дефекти като пукнатини, подрези, непровари, пори. Шевовете трябва да имат отговаряща на конструктивната документация размери и форма. Завареното съединение трябва да бъде устойчиво към преминаване в крехко състояние. В отделни случаи към заварените съединения се предявяват допълнителни изисквания (работоспособност в условията на вибрационни и ударни натоварвания, повишени или понижени температури и т.н.). Но във всички случаи технологията трябва да осигури максимална производителност и икономичност на заваръчния процес при безусловна надеждност и издръжливост на конструкцията.

Механичните показатели на метала на шева и завареното съединение зависят от неговата структура, която се определя от химическия състав, режима на заваряване, термообработката. Химическият състав на метала на шева зависи от относителния дял на основния и електродния метал в образуването на шева, а също така от взаимодействието между метала, шлаката и газовата фаза. При заваряване на нисковъглеродна стомана металът на шева се отличава незначително от основния метал. Тази незначителна разлика се свежда до намаленото съдържание на въглерод в метала на шева, тъй като металът на електрода или на добавъчния тел съдържа по-малко количество въглерод, и повишено съдържание на манган и силиций. Понижаването на якостта, свързано с намаленото количество въглерод, при електродъговите методи се компенсира напълно от по-високата скорост на охлаждане и легирането чрез тела, обмазката на електрода или флюса с манган и силиций. Осигуряването на равна на основния метал якост при заваряването на нисковъглеродни стомани не представлява трудност. При електрошлаковото заваряване равна на основния метал якост се постига чрез използване на нисколегиран тел марка Зв-10Г2.

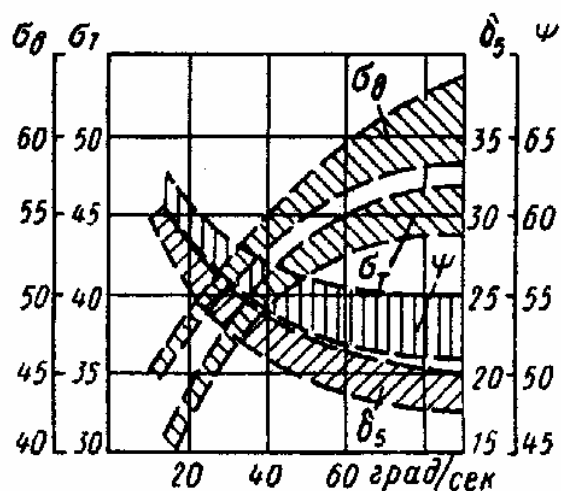


Рис.1.1 Зависимост между скоростта на охлаждане и механичните показатели на шева

Значително влияние на механичните свойства на метала на шева оказва скоростта му на охлаждане (рис.1) , което се обяснява с изменението на количеството и структурата на перлитната фаза. Увеличаването на скоростта на охлаждане увеличава якостта и намаляване на пластичността на метала на шева. Ударната жилавост също намалява с увеличаването на скоростта на охлаждане. Независимо от това, критичната температура на преминаване в крехко състояние на еднослоен шев на практика не зависи от скоростта на охлаждане. Скоростта на охлаждане на метала на шева се определя от дебелината на основния метал, режима на заваряване и началната температура на изделието. Изменението на механичните показатели не се определя единствено от скоростта на охлаждане, но и от пластичната деформация, протичаща в метала на шева под въздействието на заваръчните напрежения и предизвикваща осезаемо повишаване на границата на провлачване. Влиянието на скоростта на охлаждане се проявява в най-голяма степен при електродъгово заваряване на еднослойни ъглови шевове и последния слой на многослойни челни и ъглови шевове на дебел основен метал, заварени след изстиването на предходните слоеве. Металът на многослойния шев, особено ако е заварен с обмазани електроди, има по-ниска критична температура на преминаване в крехко състояние, отколкото металът на еднослоен шев, което е свързано с издребняване на структурата на метала на шева, предизвикано от топлинното въздействие на следващите слоеве. Подобно температурно въздействие е подобно на въздействието на нормализацията.

При електрошлаково заваряване на челни и ъглови шевове, практически при всякакви режими на заваряване скоростта на охлаждане е малка. Поради това изменението на режима не води до съществено повлияване на механичните свойства на шева.

Особеностите на термичния цикъл на шева при електрошлаковото заваряване предопределят по-дългото пребиваване при високи температури,

което води до ръст на зърната, формиране на видманщетова структура и намаляването на ударната жилавост на метала на шева.

Механичните свойства на метала на околошевната зона зависят от конкретните условия на заваряване. При всички видове дъгово заваряване изменението им се свежда до незначително уякчаване на метала в зоната на прегряване, предизвикано в някои случаи от видманщетова структура.

При електрошлаковото заваряване в повечето случаи се наблюдава формиране на видманщетова едрозърнеста структура, което води до значително понижаване на ударната жилавост на метала в тази зона, без да променя якостните свойства. При заваряване на стомани, склонни към стареене, на участъка на рекристализация може да се наблюдава понижаване на ударната жилавост на метала.

Табл.1.1 Влияние на термичната обработка на механичните свойства на метала на шева при заваряване на нисковъглеродна стомана

Състояние на метала на шева	Последен слой от многослоен шев(подфлюсово заваряване)					Електрошлаково заваряване, кг/мм ²				
	σ_t , кг/мм ²	σ_b , кг/мм ²	δ_5 , %	Ψ , %	a_n , кгм/см ²	σ_t	σ_b	δ_5 , %	Ψ , %	a_n , кгм/см ²
След заваряване	31,4	46,3	25,5	62,2	10,5	32,5	46,7	23,3	56,0	8,2
След отвяряне при 660°C	25,7	43,3	33,1	69,9	12,5	31,8	46,3	24,1	56,8	7,9
След нормализация	24,0	38,2	35,1	71,2	15,7	30,7	46,4	34,7	57,3	17,9
След отгрев	23,0	39,6	35,3	71,5	13,4	-	-		-	-
След закаляване	34,9	54,4	24,4	-	8,0	-	-		-	-

Забележка: Химичен състав на метала на шева: при подфлюсово заваряване 0,12%C, 0,75%Mn, 0,22%Si; при електрошлаково заваряване 0,14%C, 0,80%Mn, 0,07%Si.

Конструкциите от нисковъглеродна стомана в някои случаи се подлагат след заваряване на термообработка: високотемпературно отвяряне за сваляне на заваръчните напрежения или нормализация за изравняване на свойствата и подобряване на структурата на отделните участъци на завареното съединение. При дъгово заваряване на еднослойни ъглови или многослойни с изчакване за

изстиване на предходните слоеве при полагането на отделните слоеве всички видове термообработка (без закаляване) водят до понижаване на якостните и повишаване на пластичностните показатели (табл.1.1). Това се дължи на факта, че при термообработката се постига по-бавно охлаждане на шева, отколкото в условията на заваръчния термичен цикъл. При заваряване на еднослойни челни и многослойни челни и ъглови шевове, заварявани с къси участъци без прекъсване между отделните слоеве, поради незначителната разлика в скоростта на охлаждане, ролята на термичната обработка не е толкова съществена. При електрошлаково заваряване термичната обработка влияе слабо на якостта и пластичността на метала на шева (табл.1.1). Но нормализацията от своя страна води до рязко увеличаване на ударната жилавост. Това се обяснява с факта, че при електрошлаковото заваряване скоростта на изстиване на метала на шева е съпоставима с тази при термообработката.

Шевове на нисковъглеродни стомани, заварени по всякакви методи на заваряване чрез стопяване, имат удовлетворителна устойчивост срещу кристализационни пукнатини, което се обуславя от ниското въглеродно съдържание в метала на шева. Но при заваряване на нисковъглеродни стомани с въглеродно съдържание в горната граница (0,21-0,25%), ъгловите шевове, първия слой на многослоен челен шев, едностранни шевове с пълнен провар на краищата и първия слой на челен шев със задължителна междина е възможно образуването на кристализационни пукнатини, което е свързано основно с неблагоприятната форма на провара (дълбока и тясна с коефициент на формата 0,8-1,2). Появата на пори, непровари, подрези, натичания и прегаряния при заваряване на нисковъглеродни стомани се обуславя от общите закономерности на самия процес на заваряване.

Нисковъглеродните стомани се заваряват практически по всички известни методи на заваряване чрез стопяване.

1.2.2 Нисколегирани нисковъглеродни стомани

Нисколегираните нисковъглеродни конструкционни стомани, предназначени за заварени конструкции, се доставят предимно в горещовалцовано състояние и в такова се използват. В тези стомани въглеродното съдържание не надминава 0,23%. За легиращи елементи в тези стомани се използват хром, манган, силиций, никел, мед, титан. Легиращите елементи, разтваряйки се във ферита и издребнявайки перлита, водят до известно повишаване на якостта, затова такива стомани се наричат стомани с повишена якост. Тези стомани трябва да имат висока устойчивост към преминаване в крехко състояние и да бъдат икономически изгодни. Съставът на стоманата трябва да определя възможността за заваряване, без усложняване на технологията с гарантиране на висока устойчивост срещу пукнатини в шева и отсъствието на слабопластични закалъчни структури в околошевната зона. Изискването за икономическа оправданост ограничава

използването на елементите никел и молибден. Изискването за добра заваряемост ограничава използването на елементи, които, способствайки уякчаването, едновременно намаляват устойчивостта срещу преминаване в крехко състояние и образуването на горещи пукнатини(въглерод, силиций). Най-голямо разпространение в промишлеността намират 14ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД, 12ХГН, 15ГС, 14Г, 19Г и др. Механичните им показатели са: $\sigma_b=44-54$ кГ/мм² и $\sigma_t=30-40$ кГ/мм². По отношение на сярата и фосфора могат да бъдат отнесени към качествените стомани.

По своята реакция на заваръчния цикъл нисколегираните стомани 09Г2 и 09Г2А незначително се отличават от нисковъглеродните стомани, тъй като имат много голяма критическа скорост на охлаждане от порядъка на 100°С/с[3]. Разликата се състои основно в по-голямата склонност към ръст на зърното в зоната на прегряване, където се наблюдава едрозърнеста ферито-перлитна, а често и видманщетова структура, и към закалка при повишени скорости на охлаждане. Издребняване на структурата се наблюдава в участъка на непълна прекристализация. Тези им особености обуславят необходимостта изборът на режим на заваряване да бъде в по-тесни граници, отколкото при нисковъглеродните стомани. Изборът на режими и технология на заваряване трябва да се правят на основата на анализа на условията, изключващи възможността от поява на горещи и студени пукнатини, опасността от които се увеличава при увеличаване съдържанието на вредни примеси, на въглерода и на легиращите елементи. Така например в стомани 10Г2С, 15ХСНД, 14Х2ГМР, 14ХГС с увеличаването на съдържанието на манган, хром и други легиращи елементи при съдържание на въглерод 0,15% и повече в следствие наличието на карбиди с по-голяма устойчивост(в сравнение с цементита) започва да се получава ефектът на нехомогенния аустенит при заваръчното нагряване. С увеличаване степента на легиране и скоростта на охлаждане при заваряване в структурата на метала на околошевната зона нараства количеството на бейнитната или даже на мартензитната съставляваща. Това обуславя повишената твърдост на метала в околошевната зона.

Образуването на закалени участъци, съчетано с наводородяването при заваряване и високото ниво на остатъчните напрежения може да доведе до появата на студени пукнатини при стомани от този тип. Дотолкова доколкото увеличаването на линейната енергия може да стане причина за намаляване устойчивостта срещу крехко разрушаване, общоприетата технология се основава на използването на ограничаване на линейната енергия. При дебелина на проката 50 мм е ефективно използването на автоматично подфлюсово заваряване. Повишаване на производителността на заваряването, при удовлетворяване на изискванията за механични показатели и служебни свойства, се достига с използването на технология, основана на регулирането на термичния заваръчен цикъл, както при автоматично заваряване под флюс(при дебелина на стоманата 30 мм), така и при електрошлаковото заваряване(при дебелина на стоманата повече от 30 мм).

Особеност на термоуякчаваните стомани, номенклатурата на които в промишлеността постоянно се разширява във връзка с намаляването на теглото на конструкциите, е склонността им към разякчаване при заваряване, намаляваща конструктивната якост на заварените съединения. Рационални пътища за повишаването на ефективността от използването на термоуякчаеми стомани за заварени конструкции е въвеждането в състава им на елементи, намаляващи критическата скорост на охлаждане или, ако става въпрос за конкретни марки стомани с несложен химичен състав, използване на технология с регулируем термичен цикъл.

Съдове, апарати и техните елементи, произведени чрез заваряване, шамповане или валцоване подлежат на задължителна термообработка-високотемпературно отвъръщане ако:

- дебелината на цилиндричната или коничната част, дъното, фланеца, тръбата, в мястото на тяхното заваряване, е по-голяма от 36мм за въглеродни стомани и 30мм за нисколегирани манганови стомани;

- са предназначени за експлоатация в среди, предизвикващи корозия под напрежение.

Заварените съединения от въглеродни, нисколегирани, манганови, мангано-силициеви и хроммолибденови стомани, заварени електрошлаково, подлежат на нормализация и високотемпературно отвъръщане.

При спазване на изискванията на стандартите по отношение на подготовката на краищата за заваряване, ограничаването на линейната енергия и провеждането на задължителните видове термообработка заварените съединения, изпълнени чрез ръчно електродъгово, мехнизирано подфлюсово заваряване и в заваряване в защитна газова среда, имат свойствата отразени в табл.1.2 [3]

Табл.1.2 Изисквания към заварените съединения

Механични свойства	Заварени съединения на				
	Въглеродни стомани	Нисколегирани манганови и мангано-силициеви стомани	Хромови, Хромомолибденови, Cr-Mo-W стомани	Аустенитно-феритни	аустенити
Минимална Стойност на КСУ, Дж/м ² При температура					
-20	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7
По-ниска От -20	0,3	0,3	-	0,3	-
Ъгъл на огъване	продължава на следващата страница				

в градуси при дебелина, мм					
20	100	80	50	80	100
Повече от 20	100	60	40	60	100
НВ на метала на шева МРа Не повече от	-	-	2400	2200	2000

Забележки: 1.Твърдостта НВ на метала на корозионо-устойчив шев на съдове и апарати от двуслойна стомана не трябва да надминава 2200 МРа.

2.При температура 20° σ_b на завареното съединение не трябва да бъде по-ниска от σ_b на основния метал по стандарта или техническите изисквания за конкретната марка стомана.

В общия случай, при спазването на установените изисквания към режимите на заваряване и правилния избор на добавъчен материал, и режим на термообработка заварените съединения на горещовалцованите и нормализираните стомани съответстват на изискванията, поставяни към заварените съединения.

Затруднения възникват при заваряване на термоуякчени стомани във връзка с разякчаването им при заваряване. Казаното се илюстрира с данните от изпитванията на заварени съединения на челно заварени тръби с размери 1420 x 14 мм от термоуякчена стомана 16ГФР с $\sigma_b = 687$ МРа, $\sigma_t = 549$ МРа. Автоматично електродъгово заваряване е проведено по общоприетата технология(вариант А) и с използването на регулируем термичен цикъл(вариант Б) с използването на тел Зв-08ХМ.и флюс АН-47.

При вариант А структурата на метала на шева е ферито-перлитна, карбидната фаза е ориентирана по границите на зърната на ферита. На участъка на непълно стопяване структурата е ситнодисперсна със съдържание на структурно-свободен ферит-10%, перлит-15% и бейнит-75%. В участъка на непълна прекристализация структурата е ферито-перлитно-бейнитна със съдържание на бейнит-50%. Съдържанието на структурно-свободен ферит тук е 20%, което определя по-нискта (с 32%) твърдост на метала в този участък в сравнение с основния метал.

При вариант Б в метала на шева се предотвратява отделянето на структурно-свободен ферит, а в околошевния участък се образува напълно бейнитна структура. На участъка на непълна прекристализация съдържанието на структурно-свободен ферит не превишава 10%, а твърдостта се приближава до тази на основния метал.

По този начин преминаването от вариана А към вариант Б позволява да се намали разякчаването на основния метал от 32 до 8%, а ширината на

разякчения участък да се намали от 10 на 3 мм, при това якостта на заварените съединения при изпитване на опън нараства от 557 МПа, което съставлява 84% от якостта на основния метал, до нивото на якост на основния метал (700 МПа). Ударната жилавост на метала на шева и околошевната зона надвишават изискванията за заварени тръби с диаметър 1420 мм.

Прилагането на технология, основана на регулиране на термическия заваръчен цикъл чрез съпътстващо охлаждане, позволява да се реализира автоматично подфлюсово заваряване на форсирани режими, т.е. при по-голяма линейна енергия, сравнено със заваряване без регулируем цикъл. При това се намалява броят на преходите, повишава се производителността на заваръчния процес, намалява се енергоемкостта на производството и дефектността на заварените съединения.

Технологията на механизирано дъгово заваряване с регулируем термичен цикъл се прилага в условията на производство на нефтогазохимическо оборудване с дебелина на стената 30-50 мм и при заваряване на основния слой от двуслойни стомани със същата дебелина на стената.

При механизирано дъгово заваряване с регулируем термичен цикъл за три прехода на стомана 16ГМЮЧ с дебелина 36 мм е използван флюс АН-348А, при което при полагането на първи и трети преход е използван тел 5Св-10НМА, а на втория 5Св-08ГА. Площа на охлаждащата повърхност е 255 см², разходът на охлаждащата вода е 0,2 кг/сек. Скоростта на охлаждане $w_{600-500}$ в зоната на термично влияние е поддържана средно около 22-24°C/с по дебелината на сечението. След това е направено отвърщане при 650-680°C в продължение на 2 часа. Металографските изследвания са показали, че металът на шева и околошевната зона са с бейнитна структура с отделни феритни отделения. Основният метал е с ферито-перлитна структура с равно количество на съставящите. Твърдостта на метала на шева, изпълнен с тел 5Зв-10НМА, е 2100-2200 МПа и намалява в посока от метала на шева към основния метал до 1750 МПа. Разякчаване не се наблюдава. Стойностите КСЧ при температура -40°C са: заметала на шева 0,73-0,87; за околошевния участък 0,6-1,7; за основния метал 0,74-0,90 МДж/м².

В [4] е показано, че перспективен метод за уякчаване на технологическото оборудване, за повишаване на неговите служебни свойства непосредствено в машиностроителното предприятие, е използването на технология, предвиждаща следната последователност на операциите: закаляване-заваряване-отвърщане. При това, за осигуряване на комплекс от повишени механични свойства на заварените съединения, е необходимо заваряването да се осъществява с регулируем термичен цикъл. Например при производството на циклонни прахоуловители от стомана 09Г2С с дебелина 32 мм коренният подваръчен челен тръбен шев се заварява от вътрешната страна на корпуса с прилагане на механизирано дъгово заваряване на „възглавница” от нарязана на малки парчета тел с височина $2 \pm 0,5$ мм, направена от заваръчен тел 23В-08ГА. Механизираното заваряване на втория и последващите (всичко 5

слоя, включително и коренния) слоеве се извършва от външната страна с регулируем термичен цикъл. Площта на охлаждащата повърхност възлиза на 112 см². Скоростта на охлаждане в интервала 600-500°C на метала на околошевния участък от зоната на термично влияние – 12-14°C/с при разход на охлаждаща вода 0,45-0,50 кг/с. Първият, третият и четвъртият преход са заварени със заваръчен тел 53В-10НМ, а вторият с 53В-08ГА под флюс АН-348А. Температурата на последващото отвръщане е 650±10°C. Прилагането на тази технология е позволило да се осигури якост на завареното съединение от около 540 МПа, което е с 45 МПа повече от нормализирана стомана 09Г2С. Минималната стойност на КСУ(при температура -70°) са: за метала на шева 0,6; за околошевния участък 1,1; за основния термоуякчен метал 1,4 МДж/м², а за нормализирана стомана 0,5 МДж/м².

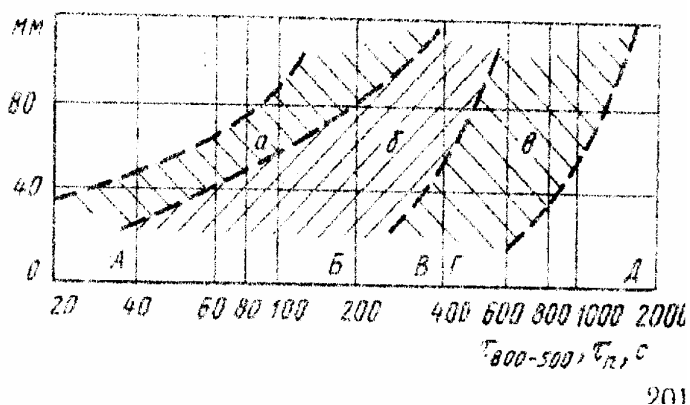
Данните на таблица 1.3 показват високите характеристики на жилавостта на разрушаване на основния метал и на заварените съединения при уякчаване на оборудването в машиностроителното предприятие чрез използването на тази технология.

Табл.1.3.Характеристики на жилавостта на разрушаване на основния метал и на заварените съединения (температура на изпитване -60°)

Характеристика	Основен метал след термообработка			Заварено съединение (надрез по линията на сплавяне)
	нормализация	Нормализация и отвръщане	Закаляване и отвръщане	
Критично напрежение на статично разрушаване на уморна пукнатина, МПа	725	754,4	855,4	823,1
Критичен коефициент на интензивност на напреженията, МПа.м ^{1/2}	90	94	107	103
Ефективен коефициент на концентрация на напреженията в областта на уморна пукнатина	0,73	0,69	0,70	0,58

За кръгови шевове на апарати с дебелина на стената до 80 мм от стомани 20К и 20ЮЧ, предназначени за работа при температура по-ниска от -20°C , от стомани 16ГС, преназначени за работа при температура не по-ниска от -40°C , от стомани 09Г2С, предназначени за работа при температура не по-ниска от -55°C , в съответствие с ОСТ 26-291-79 се допуска да се провежда само високотемпературно отвързване без нормализация, при условие на прилагане на комбинирана технология (механизирано дъгово заваряване + електрошлаково заваряване с регулируем термичен цикъл). Общоприетата електрошлакова технология се прилага само при условие, че е проведена високотемпературната обработка – нормализация или термично уакчаване с цел повишаване на структурно-механичната еднородност на заварените съединения.

Изследванията, резултатите от които са разгледани в [4], позволяват да се установи структурно-фазовият състав на околошевния участък на заварените съединения, при които се реализират повишено ниво на механичните, технологичните и служебните свойства в условията на електрошлаково заваряване без прилагане на високотемпературна обработка. В съответствие с обобщената диаграма на фиг.2, заваряемите стомани може да се разделят на три групи в зависимост от съотношението на реализираната при дадената технология на заваряване продължителност на охлаждане $\tau_{800-500}$ и характеристичната продължителност τ_{Π} .



Фиг.1.2 Влияние на дебелината на заваряемия метал и електрошлаковата технология на продължителността $\tau_{800-500}$:

а – електрошлаково заваряване с регулируем термичен цикъл

б – електрошлаково заваряване с тясна междина

в – електрошлаково заваряване по общоприетата технология

А-Д- τ_{Π} съответно за стоманите 10Г2ФР, 14Х2ГМР, 10ХГ2М4, 10ГН2МФА, 15ХГ2НМФА

В първата група влизат нисколегираните силициево-манганови стомани, при които $\tau_{\Pi} \leq 20$ с, което е значително по-малко от $\tau_{800-500} \geq 300$ с, реализирано при общоприетата технология. Електрошлаковото заваряване на тези стомани без високотемпературна обработка на завареното съединение е възможно само

при условие за регулиране на термичните цикли посредством съпътстващо охлаждане.

Във втората група влизат стомани с повишено съдържание на манган, хром(до 2%), и молибден(до 1%), при които стойностите τ_{π} се доближават до тези на $\tau_{800-500}$. До определена дебелина на проката електрошлаковото заваряване на тези стомани е възможно по общоприетата технология без високотемпературна обработка на завареното съединение.

Към третата група се отнасят стомани, комплексно легирани с манган, хром, никел, молибден, ванадий, при които стойностите на τ_{π} съществено надвишават $\tau_{800-500}$. Електрошлаковото заваряване на тези стомани по общоприетата технология до значителни дебелини е възможно без високотемпературно обработване на заварените съединения.

Сравнявайки микроструктурата на метала на околошевния участък на електрошлаково заварените стомани може да се установи, че с увеличаване на τ_{π} в структурата се ограничава съдържанието на ферит и перлит, характеризиращи се с понижена енергоемкост на разрушаване, и се увеличава количеството на бейнита.

Характеристика на структурата и механичните свойства на метала на околошевния участък на заварените електрошлаково съединения от въглеродни стомани с регулируем термичен цикъл и последващо отвръщане при 650°C е направена в таблица 1.4.

Таблица 1.4. Характеристики на околошевната зона на електрошлаково заварени съединения от въглеродни стомани

Стомана	Дбелина на проката	Условен диаметър на аустенитното зърно	Ширина на феритните ивици	Съдържание, %		KCU ¹	KCU ²
	мм			На фери та	Жилата компонен та в лома	МДж/м ²	
20ЮЧ	85	0,24	0,013	30-40	30	0,44	0,11
Продължение на таблица 4							
20К	90	0,19	0,018	40-50	10	0,51	0,07
20К	100	0,22	0,020	40-50	25	0,75	0,08
20ЮЧ	100	-	-	-	25	0,64	0,09

При електрошлаково заваряване на стомани 16ГС и 09Г2С се препоръчва да се използват телове Зв-10Г2, Зв-08Г2, Зв-08Г2С, Зв-08ГСМТ, Зв-10НЮ в съчетание с флюсове АН-8 и АН-22. При това е задължително провеждането на термообработка, както и за въглеродните стомани. Регулирането на термичния цикъл при електрошлаково заваряване позволява

да се осигури повишено ниво на механичните показатели на заварените съединения в състоянието им след заваряване и отвърщане без извършване на високотемпературна обработка(табл.1.5).

Таблица 1.5. Механични свойства на електрошлаково заварени с регулируем термичен цикъл съединения

Стомана	Дебелина на проката	σ_b , МПа не по-малко от	Т, °С	КСУ, МДж/м ²		
				шев	околошевнен участък	основен метал
20К	80	490	-20	0,50±0,24	0,72±0,18	-
	100	490	-20	0,73±0,08	1,05±0,20	0,69±0,11
20ЮЧ	85	530	-20	0,74±0,11	0,67±0,14	0,75±0,10
	100	520	-20	0,61±0,18	0,88±0,37	0,91±0,14
16ГС	60	510	-30	0,60±0,22	0,70±0,38	0,81±0,15
	100	510	-30	0,63±0,17	0,65±0,20	-
09Г2С	60	520	-60	0,66±0,31	0,76±0,31	0,58±0,14
	100	510	-60	0,60±0,22	0,70±0,38	0,81±0,15
16ГМЮЧ	50	530	-40	0,45±0,19	1,18±0,24	0,59±0,08

При преминаване от общоприетата електрошлакова технология към същата с регулируем цикъл се повишава корозионната устойчивост и механичната якост на заварените съединения. Например завареното съединение от стомана 16ГМЮЧ(заваряване с регулируем цикъл с последващо отвърщане, с подваръчен шев) в среди, съдържащи сероводород, по корозионна устойчивост надминават основния метал. Пределните напрежения съставляват 132 МПа, което е около 20% повече от съответните напрежения за основния метал. Благоприятен фактор от гледна точка на повишената корозионна устойчивост на електрошлаковите заварени съединения се явява формирането на бейнитна структура в метала на шева и околошевния участък. Увеличаването на скоростта на охлаждане при електрошлаково заваряване с регулируем цикъл предотвратява образуването на структурно-свободен ферит при $\gamma \rightarrow \alpha$ – превръщане, препятства протичането на корозионни процеси, а намаляването на размера на карбидните частици, играещи роля на колектори на водород, възпира катодната реакция.

При заваряване на нисколегирани стомани за осигуряване на равна якост на основния метал и метала на шева добавъчният материал трябва да бъде с по-голяма якост от този при нисковъглеродните стомани[1]. Това се постига основно чрез легиране с елементи от основния метал. Устойчивостта на метала на шева срещу горещи пукнатини е малко по-ниска от тази на нисковъглеродните стомани, във връзка с това, че легиращите елементи засилват отрицателното влияние на въглерода. Повишаване на тази

устойчивост се постига чрез намаляване на съдържанието на въглерод и легиращи елементи в метала на шева и осигуряване на благоприятна форма на провара.

Трябва да се отбележи, че нисколегираните стомани са в известна степен по-чувствителни към концентрация на напреженията, отколкото нисковъглеродните. Затова към качеството на завареното съединение в този случай обикновено се поставят по-високи изисквания (отсъствия на пори, непровари, подрези, плавен преход от метала на шева към основния метал и др.

Ще разгледаме заваряемостта на две типични за машинните конструкции стомани – ВСт.Зсп и 15ХСНД.

Химичният състав на ВСт.Зсп е показан в табл.6, а механичните и свойства – в табл.7.

Таблица 1.6. Среден състав на завареното съединение на Ст3 с нисковъглероден тел, %.

Метал	C	Si	Mn	S	P
ВСтЗсп	0,14-0,22	0,12-0,30	0,45-0,65	До 0,050	До 0,040
Метал на шева при подфлюсово заваряване	0,12-0,18	0,15-0,40	0,65-0,75	0,016-0,045	0,012-0,050
Метал на шева при електроннолъчево заваряване	0,10-0,16	0,07-0,16	0,45-0,60	0,017-0,04	0,013-0,041

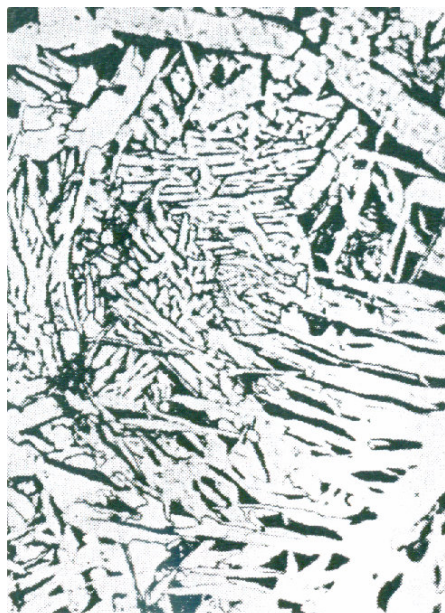
Табл.1.7 Механични свойства на стомана ВСтЗсп

Стомана	Дебелина на проката	Термо-обработка	Механични свойства			
			$\sigma_{\text{т}}$, кгс/мм ²	$\sigma_{\text{б}}$, кгс/мм ²	δ_5 , %	KCU, МДж/м ² при -40°C
ВСтЗсп	до 6	-	24	38-40	27	0,3
	6-12	нормализация	24	40	27	0,3

При еднослойно заваряване на Ст.3 (с добавъчен тел Зв-08Г2С) в среда от въглероден диоксид, в рамките на обикновените стойности на линейната енергия (2-3 ккал/см), структурата на метала на шева е ферит и перлит, като твърдостта му е от 160 до 210 HV (q/v съответно 3 и 2 ккал/см).

При механизирано еднослойно заваряване под флюс със същия тел феритно-перлитната структура се запазва, твърдостта е в рамките на 160-180HV. За феритно-перлитната структура на електрошлаково заварен шев твърдостта е 150-170 HV.

При заваряването на Ст.3 проблемно може да се окаже образуването на видманщетова (фиг.3) структура, харкатеризираща се с отделянето на иглообразен ферит не само по границите на зърната, но и във вътрешността им. Формирането на такава структура се определя от следните фактори – химичен състав на стоманата, химична нееднородност на аустенита, големина на аустенитните зърна, скорост на охлаждане.

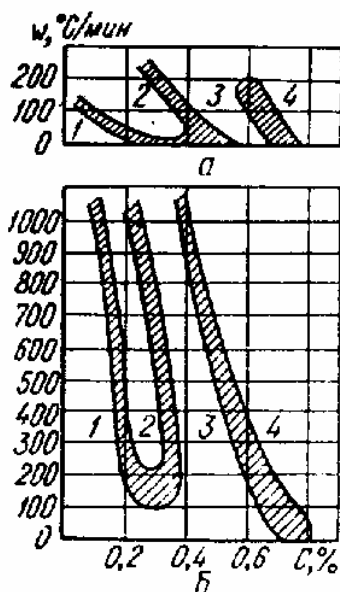


Фиг.1.3 Видманщетова структура

При достатъчно малки скорости на охлаждане феритът се отделя по границите на зърната във вид на мрежа. При по-големи скорости се отделя и във вътрешността на зърната. В метала на шева химичната нееднородност има подобен ефект. В околошевната зона видманщетова структура се определя от температурата на прегряване (над A_{c3}) и продължителността на нагриване при максимална температура. Например при електрошлаково заваряване, поради значителното задържане при температури над A_{c3} , се обезават едри аустенитни зърна. Това спомага образуването на видманщетова структура дори при малките скорости на охлаждане, характерни за този метод на заваряване. Колкото по-висока е температурата на прегряване, толкова по-малко значение има факторът „време“. Тези два фактора предопределят не

само появата на видманщетова структура, но и ширината на зоната с такава структура, което е важно при оценката на якостта на заварените съединения.

Г. Гинеман и А. Шрьодер са построили структурна диаграма (фиг. 4), свързваща въглеродното съдържание, размера на зърното и скоростта на охлаждане. Вижда се, че областта на концентрации даващи видманщетова структура е 0,2-0,4%С. При неголямо прегряване тя се разширява в областта на по-ниските концентрации въглерод. При среден размер на зърното и 0,15-0,35%С образуването на видманщетова структура се получава при скорости на охлаждане над 100°C/мин. При по-голям размер на зърната тя се получава и при съвсем ниски скорости на охлаждане.



Фиг.1.4 Влияние на скоростта на охлаждане и на въглеродното съдържание на структурата на метала: а – едро зърно(1200°C, 2 ч.); б – средно зърно($A_{c3}+10^{\circ}\text{C}$, 10 мин.; 1 - зърнести структури, 2 – видманщетова структура, 3 – мрежа по границите на зърната, 4 – перлит с неголеми феритни зони.

Както вече отбелязахме, най-опасният участък на завареното съединение е зоната на прегряване. Дори в условията на кратковременно пребиваване при високи температури се наблюдава уедряване на зърната. При последващото бързо охлаждане в повечето случаи протича фазово превръщане от перлитен характер, тъй като скоростите на охлаждане все пак са недостатъчни за да предотвратят дифузионните процеси, произтичащи при превръщането на аустенита при високи температури (550-600°C). Ускоряването на охлаждането води до непълно отделяне на подевтектоидния ферит и образуването на подисперсен перлит (сорбит). Перлитни структури в зоната на прегряване се образуват при дъгово и електрошлаково заваряване. На фиг.5 са представени няколко структури на СтЗ в зависимост от метода на заваряване.



Фиг.1.5 Структура на зоната на прегряване на заварено съединение от Ст3, заварено с: а – електроннолъчево заваряване, б – подфлюсово заваряване, в – електрошлаково заваряване

Механичните свойства на зоната на прегряване (табл.1.8) се различават от тези на основния метал и зависят от метода и режима на заваряване. При всички дъгови методи на заваряване се забелязва известно уякчаване. При електрошлаковото заваряване съществено намалява ударната жилавост и устойчивостта към преминаване в крехко състояние. Ударната жилавост на зоната на прегряване непосредствено след заваряването е на долната граница на изискванията към основния метал, а при отрицателни температури тези изисквания не могат да бъдат покрити.

Табл. 1.8 Механични свойства на зоната на прегряване в зависимост от въглеродното съдържание и добавъчния тел.

C, %	a_H , кгс.м/см ² (Менаже)					
	След заваряване при $t, ^\circ\text{C}$		След отвяряване при $t, ^\circ\text{C}$		След нормализация и отвяряване при $t, ^\circ\text{C}$	
	-20	+20	-20	+20	-20	+20
0,15-0,20 тел 3в-08	1,5	7	1,5	7	4	12
0,15-0,20 тел 3в- 10Г2	1,5	7	1,5	7	5	12
0,21-0,26 тел 3в-08	1	4,5	1	4,5	3,5	8
0,21-0,26 тел 3в- 10Г2	1	5	1	5	4	10

Химичният състав и механичните свойства на стомана 15ХСНД са представени в таблици 1.9 и 1.10.

Таблица 1.9. Химичен състав на стомана 15ХСНД

Стомана	C,%	Mn,%	Si,%	V,%	Cr,%	Ni,%
15ХСНД	0,12-0,18	0,4-0,7	0,4-0,7	-	0,6-0,9	0,5-0,8

Табл.1.10 Механични свойства на стомана 15ХСНД

Стомана	Дебелина на проката, мм	Термо-обработка	Механични свойства			
			σ_t , кгс/мм ²	σ_b , кгс/мм ²	δ_5 , %	KCU, МДж/м ² при -40/-50°C
15ХСНД	4-10	-	35	50	21	0,3
	10-20	нормализация с двукратно отвърщане	37	56	19	0,4/0,3

Стомана 15ХСНД съдържа известни количества никел и мед. Тя се заварява удовлетворително в състояние след нормализация и в термоуякчено състояние. Структурата на метала на шева в зависимост от състава на добавъчния тел се изменя от ферито-перлитно-бейнитна до перлитно-бейнитна и на пркатика по нищо не се различава от структурите, които се получават при обикновените нисколегирани стомани от типа 10Г2С, 15Г2С и др., ако заваряването е извършвано при същите линейна енергия, заваръчни материали и дебелини.

При подфлюсово заваряване с оптимални режими твърдостта на околошовната зона не надвишава 220-240 HV.

При заваряване на закалена и отвърната при 550°C стомана 15ХСНД (с или без мед) в оптимални режими структурата на околошовната зона е следната: в зоната на прегряване – подевтектоиден ферит, перлит, бейнит (твърдост 220-240HV; ширина на зоната 2-2,5 мм); в зоната на пълна прекристализация – ферит, финодисперсен перлит (твърдост 200-210HV; ширина на зоната 1,3-1,5 мм); в зоната на непълна прекристализация – финодисперсен перлит с неголеми участъци бейнит (твърдост на зоната 180-185HV; ширина на зоната $\leq$ 1мм); основен метал – сорбит (твърдост 220-225HV).

Изпитванията на образци на опън показват, че в повечето случаи на заваряване на стомана 15ХГСНД почти всички заваръчни материали не гарантират равна с основния метал якост на съединението. Термичното им уякчаване след заваряването повишава границите на провлачване и якостта, а също така ударната жилавост при стайни и отрицателни температури (табл.1.11).

Таблица 1.11. Влияние на термичното уякчаване на механичните свойства на заварените съединения на стомана 15ХГСНД.

Заваряване	σ_t , кгс/мм ²	σ_b , кгс/мм ²	δ_5 , %	a_n , кгс/см ² при t, °С	
				+20	-40
Ръчно с обмазани електроди	47,0/44,0	62,0/65,4	25,0/19,5	-/12,1	7,8/7,7
Подфлюсово с тел ЗВ-08ГА	-/62,5	-/74,9	-/21,5	-/10,7	4,1/7,2
МАГ в среда от СО ₂ с тел ЗВ-08Г2С	41,3/49,1	-/69,6	21,5/20,5	11,6/14,1	6,6/8,6

Забележка: В числителя са приведени стойностите преди уякчаването, в знаменателя – след уякчаването. Дебелина на заварявания метал – 10 мм. Механични свойства на основния метал преди уякчаването: $\sigma_t = 39,9$ кгс/мм²; $\sigma_b = 56,8$ кгс/мм²; $\delta = 27,5\%$; $a_{n(-40)} = 0,7$ кгс.м/см²; след уякчаването: $\sigma_t = 59,7$ кгс/мм²; $\sigma_b = 74,5$ кгс/мм²; $\delta = 18\%$; $a_{n(-40)} = 5,9$ кгс.м/см²

1.3 Методи за заваряване на машинни конструкции

Широката гама заварени машинни конструкции обуславя разнообразието в използваните методи за заваряване – както конвенционални, така и сравнително нови. Ще разгледаме някои от най-често срещаните методи.

1.3.1 Заваряване с обмазани електроди.

В табл.1.12 са представени електроди за заваряване на някои нисколегирани стомани[2]:

Табл.1.12 Електроди за заваряване на нисколегирани стомани

Стомана	Електрод		Минимална температура на експлоатация, °С
	Тип	Марка	
16ГС,17ГС,	Е50А	УОНИ-13/55, К-5А, АНО-11	-30 при всякаква дебелина
17Г1С,09Г2С			-40 при дебелина до 40 мм
09Г2С,10Г2, 10Г2С1	Е50А	УОНИ-13/55, К-5А, АНО-11	-70 при всякаква дебелина ако е проведена нормализация

Технологията на заваряване на нисковъглеродните и нисколегираните стомани с обмазани електроди в машинните конструкции се проявява главно с използването на електроди тип Е42А и Е50А, тъй като използването на електроди Е42 и Е50 не във всички случаи осигурява отсъствието на горещи пукнатини и необходимата пластичност. Електродите Е42А и Е50А осигуряват равна с основния метал якост и пластичност. Високата якост на електродите Е42А се постига чрез легирането им с елементи, влизащи в състава на основния метал, и използвайки повишена скорост на охлаждане, което, при наличие на легиращи елементи, води до още по-голямо, отколкото в нисковъглеродните стомани, увеличаване на якостта. Прихватките при събирането за заваряване трябва да се изпълняват със същите електроди, с които ще се осъществява самото заваряване, и то само в местата, където са предвидени заваръчни шевове. В таблица 1.13 се представени режими на заваряване с обмазани електроди на стомани 10Г2А и 12Г2А.

Табл.1.13 Режими на зааряване с обмазани електроди

Дебелина, мм	Челно		Т-образно		С припокриване	
	Ток, А	Диаметър на електрода, мм	Ток, А	Диаметър на електрода, мм	Ток, А	Диаметър на електрода, мм
1	25-35	2	30-50	2	30-50	2,5
1,5	35-50	2	40-70	2-2,5	45-75	2,5
2	45-70	2,5	50-80	2,5-3	55-85	2,5-3
4	120-160	3-4	120-160	3-4	120-160	3-4
5	130-180	3-4	130-180	4	130-180	4
10	140-220	4-5	150-220	4-5	150-220	4-5
15	160-250	4-5	160-250	4-5	160-250	4-5
20	160-340	4-6	160-340	4-6	160-340	4-6

Забележка: При заваряване на закалени елементи от тези стомани с аустенитни електроди заваръчният ток следва да се намали с 25%.

1.3.2 Подфлюсово заваряване

В табл.1.14 са представени електродни телове и флюсове за заваряване на някои нисколегирани стомани.

Табл.1.14 Материали за заваряване на нисколегирани стомани

Стомана	Авт. под флюс		Минимална температура на експлоатация, °С
	Тел	Флюс	
16ГС,17ГС,	Св-08ГА	АН-348А	-30 при всякаква дебелина
17Г1С,09Г2С		ОСЦ-45 АН-22	-40 при дебелина до 40 мм
09Г2С,10Г2, 10Г2С1	Св-08Г2 Св-08ГС	АН-348А ОСЦ-45 АН-22	-70 при всякаква дебелина ако е проведена нормализация

При заваряване на конструкции под флюс могат да се използват руските АН-348-А, ОСЦ-45, АН-60 и тел Зв-08-ГА, Зв-10Г2. За осигуряването на достатъчна пластичност на ъгловите шевове и околошевните им зони, сечението на шева се съобразява с дебелината на основния метал или се заварява с две разделни дъги. Заваряването на многослойни шевове при голяма дебелина на метала се препоръчва да се осъществява чрез две дъги, а при една дъга се направи предварително подгриване на основния метал до 150-200°C преди полагането на първия слой. По опитен път е установена следната зависимост между дебелината на основния метал и сечението на шева(слоя):

Дебелина на по-дебелия лист в съединението.....	10-19	20-29	30-50
Сечение на тази част от метала на шева, образува- на от електродния метал, мм ²	50	70	90

Шевове, изпълнени подфлюсово, благодарение на значителната част на основния метал и достатъчното съдържание на легиращи елементи, притежават по-висока устойчивост срещу корозия в морска вода, отколкото при заваряването с обмазани електроди.

1.3.3 Заваряване в защитна газова среда

Заваряването може да се извършва, както с нетопящ така и с топящ електрод. Ще разгледаме отделно тези два метода.

1.3.3.1 Заваряване по WIG – метод

В качеството на защитна среда при заваряване с нетопящ електрод може да се използва чист аргон с чистота 99,98% (или аргон + кислород до 2-3%) и технически хелий. ВИГ-методът се прилага основно за качествено изпълнение на коренни шевове. В случаи на заваряване на нисковъглеродни и нисковъглеродни нисколегирни стомани не се изсиква заваряването по ВИГ-метод, тъй като качествен шев може да се получи по-другите, по евтини методи. За нетопящи електроди се използват, както чист волфрам(при заваряване с променлив ток), така и легиран с лантан или итрий (легирането с цирконий вече не се използва поради повишена опасност за здравето на заварчика). При избора на електроден метал(или добавъчен тел) следва да се използват посочените в таблица 1.15 материали.

Табл.1.15 Характеристики на заварените съединения на нисколегираните стомани 10Г2А и 12Г2А

Стомана	Термообработка	Добавъчен тел		$\sigma_b, \text{кГ/мм}^2$	$a_n, \text{кГм/мм}^2$
		В CO_2 и смеси	В инертен газ		
10Г2А 12Г2А	Без термообработка или нормализация преди и след заваряване	Зв-08ГС, Зв-10Г2, Зв-12ГС, Зв-08Г2С	ГОСТ2246-60	0,9 σ_b на основния метал	6

Дъговото заваряване може да се осъществява с непрекъснато и с импулсно влагане на енергията – заваряване с импулсна дъга. Предпочитание следва да се отдава на механизираното и полумеханизираното заваряване, гарантиращи най-добро качество на шевове, както и висока производителност на процеса. С нетопящ електрод се препоръчва да се заваряват изделия с дебелина не повече от 4-5 мм; с топящ електрод се заваряват изделия с дебелина 1 мм и повече. За метал с дебелина до 2 мм се препоръчва автоматично аргонодъгово заваряване с нетопящ електрод, както с добавъчен тел, така и без него; целесъобразно е също така и заваряване с импулсна дъга. При по-голяма дебелина се заварява с добавъчен тел. Материал с дебелина 3-5 мм следва да се заварява по следния метод: първият слой се заварява без добавъчен метал с пълен провар на краищата, а вторият с напречни премествания на електрода и механично подаване на добавъчния метал. При заваряване на втория слой дълбочината на провара трябва да бъде около 60-70% от дебелината на основния метал (дълбочина по-голяма от 70% не се допуска). Заваряването трябва да се извършва с къса дъга, като междината между електрода и изделието трябва да е 0,5-1 мм. За осъществяване на напречните премествания се използва специално разработен механизъм от същия институт. Този метод се използва с цел намаляване на прегряването на завареното съединение, получаване на благоприятна кристализация на метала на шева, намаляване на деформациите, с което се повишават механичните свойства на съединението. В сравнение със заваряване без напречни премествания особено съществено се повишават показателите пластичност, жилавост на метала на шева, съпротивлението срещу развитие на пукнатини и конструктивната якост на завареното съединение. При това металът на шева няма стълбчата структура, не се наблюдава прегряване на преходните зони, шевът има по-благоприятна форма с плавен преход към основния метал.

За подобряване на формирането на шева и увеличаването на разтопящата способност се прилага сместа аргон+хелий (до 25%); за да се

избегне пористостта на заварения шев, а също така да се подобри устойчивостта на горене на дъгата при заваряване с променлив ток, допълнително се въвежда известно количество кислород(до 1%).

Ръчното и механизираното заваряване се провеждат с постоянен(права полярност) или с променлив ток. Волфрамовият електрод се разполага под ъгъл 60-80° спрямо изделието при ръчното заваряване и 80-90° при механизираното. Ъгълът между електрода и добавъчния метал следва да се поддържа около 90°. Дължината на излизащия от дюзата електрод трябва да е в рамките на 5-12 мм. Краят на волфрамовия електрод, при заваряване с постоянен ток, се заостря на конус с ъгъл 30-50°. При необходимост от заваряване без подложки се препоръчва използването на аргоно-дъгово заваряване с променлив ток с промишлена или повишена честота. Заваряването с нетопящ електрод се провежда без скосяване на краищата за един преход с променлив ток с промишлена честота при дебелини 2,5-4 мм, а с повишена честота при дебелини 1-2,5 мм.

Заваряването с нетопящ електрод с постоянен ток се препоръчва да се осъществява на два прехода: за дебелини 1-3 мм без скосяване на краищата, за повече от 3 мм – със скосяване. При заваряване без скосяване първият преход може да се осъществи без добавъчен метал, при заваряване със скосяване – както с, така и без добавъчен метал(в зависимост от формирането на провара). Ако проварът е с вдлъбната форма следва да се използва добавъчен метал при заваряването както на първия, така и на втория слой. При свободен достъп до шева от обратната страна е възможно заваряване от двете страни без добавъчен тел. Режимите на заваряване с нетопящ електрод са представени в табл.1.16

Табл.1.16 Режими на заваряване по ВИГ-метод

Метод	Дебелина на метала	Челно заваряване с тел в среда на					
		аргон			хелий		
		Ток, а	Скорост, м/ч	Разход на газ, л/мин	Ток, а	Скорост, м/ч	Разход на газ, л/мин
Автоматично заваряване	0,4	30-45	30-40	4-5	-	-	-
	0,5	30-45	25-35	4-5	-	-	-
	1	60-100	20-30	4	40-60	20-30	5,5
	1,5	80-120	15-30	5-6	60-80	20-30	6-8
	2,5	100-150	10-25	6-7	70-100	15-25	8-9
	4	160-200	до10	7-8	110-170	до 10	9-10
Ръчно	1	30-60	-	3,5-4	30-45	-	5-5,5
	1,5	45-70	-	4-5	40-55	-	5-7
	Продължение на таблица 11						
	2	70-120	-	5-6	50-80	-	7-8
	3	110-150	-	6-7	75-100	-	8-9

Забележки (към табл.1.16): 1. Напрежението на дъгата в аргон е 11-15 В, а в хелий 16-22В; 2. Дължината на дъгата следва да се поддържа 1-3 мм; 3.Диаметърът на добавъчния тел следва да се избира в зависимост от дебелината на основния метал.

В процеса на заваряване обратната страна на шева следва да се защитава от въздействието на въздуха. За тази цел в заваръчното приспособление се прилагат планки, изготвени от неръждаема стомана за намаляване скоростта на охлаждане. Планките имат надлъжен канал, който в процеса на заваряване се запълва с аргон, който предпазва обратната страна от окисление. Дълбочината на канала е около половин дебелина на основния метал, а ширината – от 4 до 6 дебелини. Колкото по-малка е дебелината на основния метал, толкова по-широка е зоната на нагриване до високи температури и толкова по-необходимо е да се предпазва обратната страна от окисляване. За избягване на прегряването и за намаляването на деформациите се използва заваряване с импулсна дъга. При заваряване с волфрамов електрод се използва постоянен ток с права полярност. Към основните параметри на режима се отнасят големината на тока на импулса, продължителност на импулса $\tau_{\text{имп}}$, продължителност на паузата $\tau_{\text{пауза}}$, дължината на дъгата и скоростта на заваряване. Времената $\tau_{\text{имп}}$ и $\tau_{\text{пауза}}$ съставят цикъла, а $\tau_{\text{пауза}}/\tau_{\text{имп}}$ – неговата твърдост. При равни линейни енергии и скорости на заваряване за тънка ламарина (0,3-0,8 мм) разтопяващата способност на импулсната дъга е по-голяма от тази на постоянно горящата. С увеличаването на тока, продължителността на импулса и твърдостта на режима големината на провара и ширината на шева се увеличават. При заваряване с импулсна дъга край на волфрамовия електрод се заточва под ъгъл 60-90°. Техниката на заваряване с импулсна дъга, както с добавъчен тел, така и без него не се отличава от техниката на постоянно-дъговото заваряване с волфрамов електрод. Ориентировъчни режими са приведени в таблица 1.17.

Табл 1.17. Режими за импулсно заваряване с нетопящ електрод

Дебелина на основния метал, мм	Диаметър на волфрамовия електрод, мм	Ток, А	Време на импулса, сек	Време на паузата, сек
1	2	120-130	0,1-0,2	0,2-0,3
1,2	2-2,5	140-150	0,1-0,2	0,2-0,3

1.3.3.2 Заваряване по MIG/MAG - метод

Заваряването с топящ електрод може да се използва чист аргон, както и смесите му с въглероден диоксид и(или) кислород. Добавянето на кислород, увеличавайки окисляващото въздействие на газовата среда по отношение на

разтопения метал, позволява да се намали концентрацията на легиращите елементи в метала на шева. Това понякога се налага именно при нисколегираните стомани. Освен това в известна степен се намалява разпръскването, понижава се неговото повърхностно напрежение. Свързвайки водорода, кислородът намалява неговото спомагане за образуването на пори.

Добавянето на аргон (поякога в тази смес се добавя и кислород) изменя технологичните свойства на дъгата (дълбочина на провара и формата на шева, стабилността на дъгата и др.) и позволява регулирането на концентрацията на легиращи елементи в метала на шева.

При механизираното и полумеханизираното заваряване с топящ електрод в положения, различни от долното, се използват заваръчни телове с диаметър до 1,2 мм. В долно положение се използват телове с диаметър 1,2-3 мм. Марките телове най-често са Зв-08Г2С, Зв-08ГС. Също подходящ е телът Зв-12ГС, но за предпазване от значително повишаване съдържанието на въглерод в най-горните слоеве на многослойни шевове, нейното приложение е ограничено за шевове с не повече от три слоя.

Значително влияние върху свойствата на заваръчния шев оказва качеството на използвания газ. При повишено количество на азот, водород или влага могат да се образуват пори. Заваряването в CO_2 е по-малко чувствително към ръждиви краища отколкото подфлюсовото заваряване. Увеличаването напрежението на дъгата, причинявайки изгарянето на легиращите елементи, понижава механичните показатели на шева. В таблица 1.18 са представени някои типични режими заваряване във въглероден диоксид:

Табл.1.18 Режими на полумеханизирано заваряване в защитна газова среда

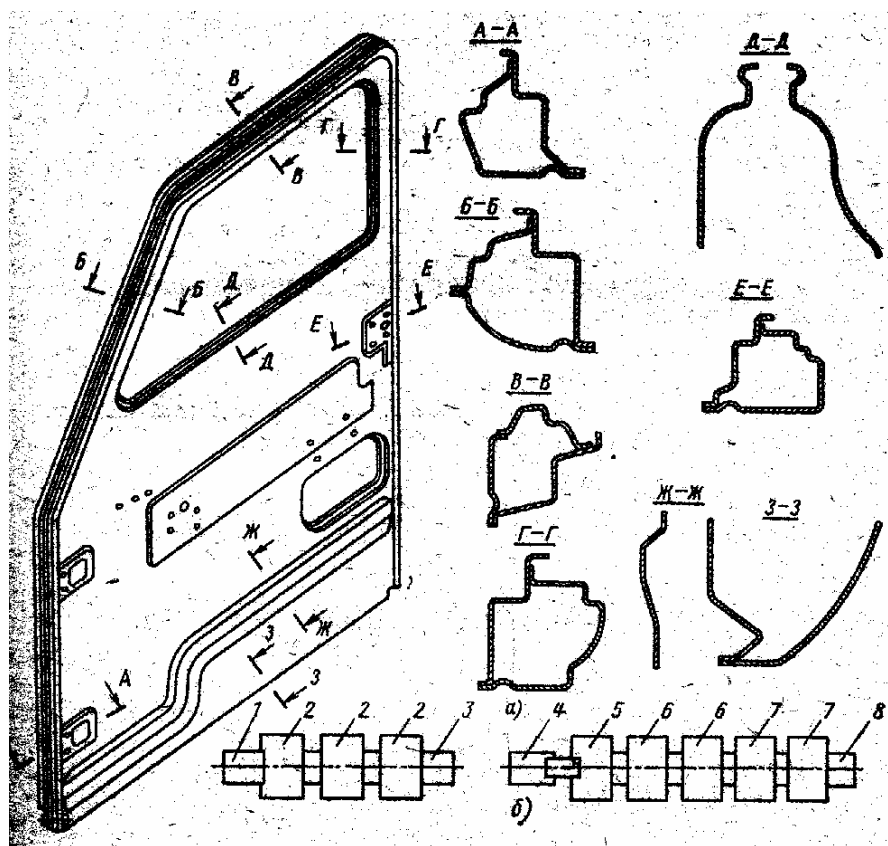
дебелина на метала,мм	катет, мм	междина, мм	брой слоеве	диам. на тела, мм	ток, А	напрежение, В	ско- рост, м/ч	газ, л/мин
Челни шевове								
1,2-2	-	0,8-1	1-2	0,8-1	70- 100	18-20	18- 24	10-12
3-5	-	1,6-2	1-2	1,6-2	180- 200	28-30	20- 22	14-16
6-8	-	1,8-2,2	1-2	2	250- 300	28-30	18- 22	16-18
8-12	-	1,8-2,2	2-3	2	250- 300	28-30	16- 20	18-20
Ъглови шевове (продължава на следващата страница)								
1,5-2	1,2-2	-	1	0,8	60- 75	18-20	16- 18	6-8
3-4	3-4	-	1	1,2	120-	20-22	16-	8-10

					150		18	
5-6	5-6	-	1	2	260-300	28-30	29-31	16-18

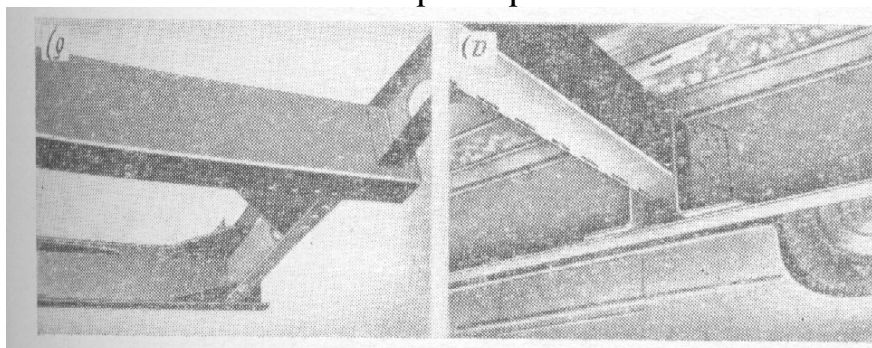
Заваряването с повишена сила на тока (при постоянна скорост на заваряване) води до получаването на шев с понижени показатели пластичност и ударна жилавост, което по всяка вероятност се обяснява с повишената скорост на охлаждане. Свойствата на метала на шева, изпълнен на нормални режими, съответстват на метал на шева, заварен с електроди Е50А. В заваряването на машинни конструкции намира приложение и заваряване във въглероден диоксид с тръбен тел. Технологията на този метод на заваряване и свойствата на заварените съединения са приблизително същите, както и при използването им при заваряване без допълнителна защита.

1.3.4 Електросъпротивително заваряване.

Електросъпротивителното заваряване намира широко приложение в машинните конструкции – резервоари на автомобили, мембрани, тръби автоматично оръжие и т.н. Негов недостатък обаче е ограничението в дебелината (или сечението) на заваряваните елементи. Например точковото електросъпротивително заваряване на ламарини с дебелина над 6 мм е свързано с редица проблеми: голямата коравина на детайлите изисква прилагането на голямо усилие към електродите, повишава се плътността на тока близо до електрода, поради което при заваряване той се нагрива, което намалява неговата издръжливост. Рязко се увеличава необходимото за уплътняване на ядрото проковъчно усилие. Вкарването на феромагнитни тела в зоната на вторичния контур на машината води до понижаване на тока в заваръчната верига, което може да стане причина за нестабилни резултати от заваряването. С увеличаване дебелината на заваряваните детайли се увеличава ролята на шунтирането на тока. При заваряване на детайли с голяма дебелина е необходима значителна електрическа мощност. Перспективен начин за решаване на част от тези проблеми е заваряване на машини с понижена честота на тока (2-4Hz). Този тип машини се включват в трифазната мрежа с нормална честота (50Hz) посредством специална токоизправяща установка. Вследствие на ниската честота индуктивното съпротивление на вторичния контур на машината е малко, а коефициентът на мощност голям. В резултат на това изменението на индуктивното съпротивление при вкарването на големи феромагнитни тела се отразява незначително на общото съпротивление на заваръчния контур и не оказва значително влияние на тока в заваръчната верига. На фиг.3 и 4 са посочени и някои примери на точково заварени машинни конструкции.



Фиг.1.6Точково заварена врата на автомобил

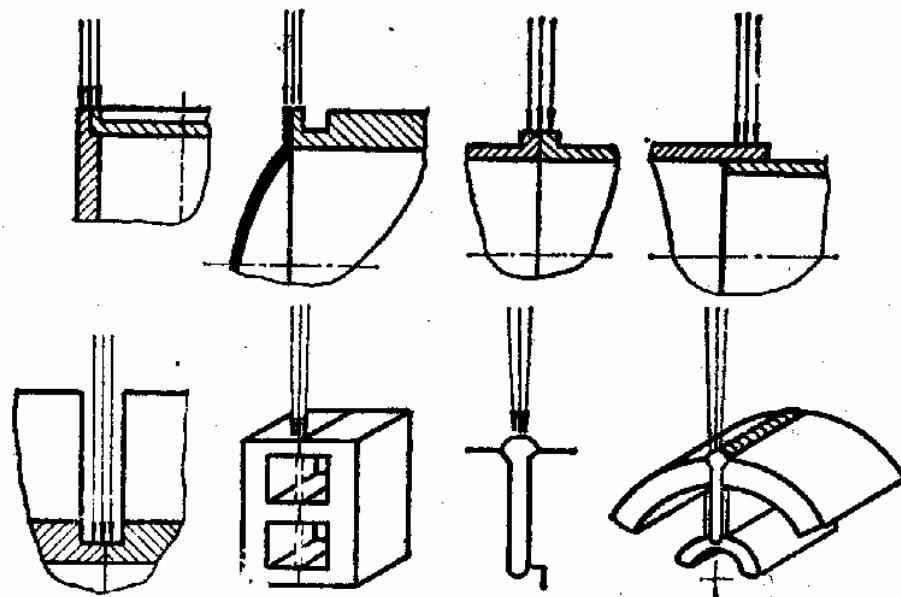


Фиг.1.7Точково заварена рама на товарен автомобил

1.3.5 Специални методи на заваряване.

В съвременното производство намират приложение редица сравнително нови, наричани още „специални” методи на заваряване – електроннолъчево, дифузионно, индукционно, заваряване с лазер, заваряване с триене и др. Техните технологични особености разширяват още повече възможностите за конструктивно оформяне на заварените изделия. Типично за това е електроннолъчевото заваряване. Вследствие голямата концентрация на енергия и малкия размер на електронния сноп става възможно заваряването да се прилага като окончателна технология при производството на някои части –

блокове зъбни колела, синхронни пръстени към зъбни колела, валове и др. Тук отпадат допълнителните операции по механичната обработка, като в някои случаи е необходимо само окончателно шлифоване. Друга особеност на този метод е, че при него могат да се използват по-заварорационални съединения, които са неизпълними чрез конвенционалните методи на заваряване (фиг.5)



Фиг.1.8 Специфични съединения за електроннолъчево заваряване

1.4 Проблеми при заваряване на машинни конструкции

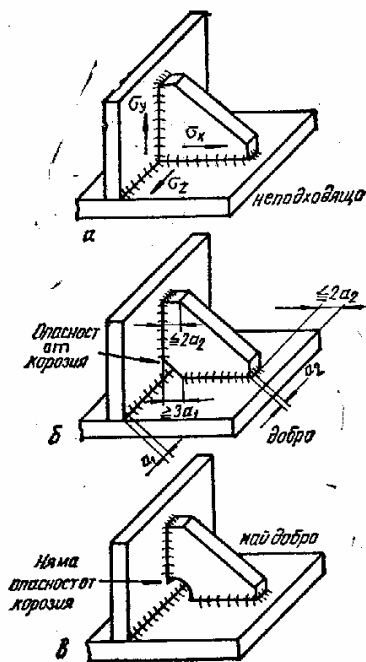
Особено голямо значение в машиностроенето имат корпусните детайли на металорежещи и металообработващи машини. Те са много метало- и трудопоглъщаеми и изискват големи производствени мощности. В практиката се правят опити за замяната на летите тела със заварени конструкции. Конструктивното оформяне на последните обаче е достаъчно трудна и отговорна задача, което се дължи на особеностите специфични за тези конструкции. Ще разгледаме някои от тях.

Телата на металорежещите и металообработващите машини трябва да имат не само якост, но и статична и динамична устойчивост. Висока виброустойчивост се осигурява при висока честота на собствените колебания. При заварените конструкции тя се постига чрез увеличаване на коравината при незначително повишаване на масата, в противоположност на летите конструкции, където тя се постига за сметка на увеличаване на масата на стените.

Увеличаването на коравината посредством оребряване изисква значителен опит, понеже аналитичното и решение (изчисляването на коравината на сечение с ребра) представлява достатъчно сложна задача, която често е и невъзможна. Ребрата, като постоянен конструктивен елемент в заварените изделия, увеличават устойчивостта на цялата конструкция срещу действието на работните усилия и заваръчните напрежения. Тенденцията за преминаване към тънкостенен тип конструкции неизбежно води до нуждата от оребряване. Неправилното използване на ребрата обаче крие потенциални опасности за надеждността на конструкцията и е признак за влошена технологичност. Тук трябва да се отнесат повишеното количество на шевове, водещо до общо оскъпяване на изделието; натрупването на големи допълнителни вътрешни напрежения, което увеличава опасността от крехко разрушаване на конструкцията при динамични натоварвания; затрудненото използване на механизирани начини на заваряване поради прекъснатостта на шевове; увеличената опасност от корозия в недозаварените ъгли на ребрата и т.н. Тези особености на оребряването водят до съответните, свързани с прилагането им проблеми:

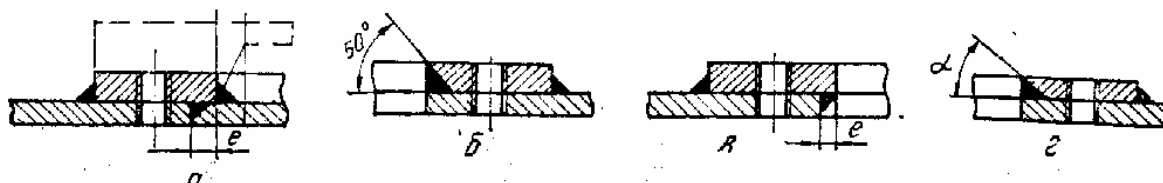
- необходимо е скосяване (изрязване на реброто), за да се избегне концентрацията на напрежения, особено при динамични натоварвания. Това може да се избегне, ако завареният възел може да се подложи на цялостна термообработка за снемане на напреженията. На фиг.6 са показани три основни начина за оребряване на Т-образно съединение. Във вариант **а** възникващото тримерно напрегнато състояние стимулира крехкото разрушаване. Варианти **б** и **в** са подходящи за динамично натоварени конструкции. Вариант **в** е по-скъп, но за сметка на това при него няма опасност от корозия, затова е подходящ за по-отговорни изделия;

- когато реброто е натоварено на опън или конструкцията работи при знакопроменливи натоварвания, реброто трябва да се завари с К-образен шев, което допълнително оскъпява конструкцията;
- в отделни случаи се налага пасване на реброто, което е много трудоемка операция и в крайна сметка е неикономично;



Фиг.1.9 Начини за оребряване на Т-образно съединение

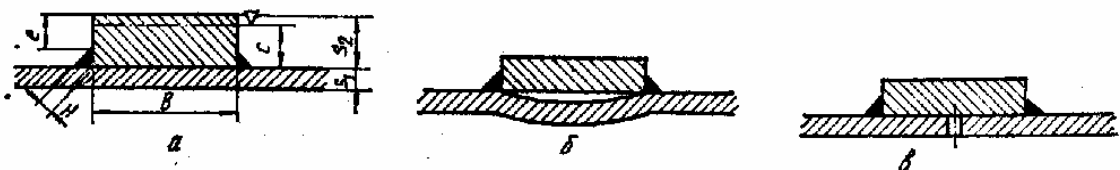
Увеличаването на коравината може да бъде постигнато и с използването на усилващи елементи. Тяхното прилагане е свързано с редица тънкости, неспазването на които може да доведе до непредвидени дефекти. За пример служи фиг.7, където са показни усилващи елементи – пръстени, които се поставят върху листови конструкции. Първите два са правилно изпълнени, за разлика от вторите, където размер e е много малък и ъгъл α е недостатъчен.



Фиг.1.10 Усилващи пръстени в листови конструкции

При заваряване на усилващи планки те трябва добре да прилягат към ламариината, като след заваряване максималната междина между тях трябва да е под 0,2 мм. В противен случай възниква опасност от корозия. В

тънкостенните конструкции, от своя страна, в резултат на ъгловите и надлъжни деформации може да настъпи издуване на по-тънката ламарина (фиг.8). При евентуално следващо отгряване на съединението издуването се засилва поради нялягането на разширяващия се въздух, който се намира в междината. Вариант в решава този проблем, но е свързан с допълнителна механообработка.



Фиг.1.11 Усилвания с планки

Друг проблем е постигането на зададената точност, която при машинните конструкции като правило е по-голяма (по-строги изисквания за успоредност, биене и т.н.). Една от причините за недостигане на необходимата точност е недостатъчната точност на детайлите влизащи във възлите и грешки при извършване на подготвителните операции (например при почистване на тънкостенни ламарини с метален пясък може да се стигне до тяхната деформация, която да не позволи базирането в приспособлението за заваряване). Това води до увеличаване на трудоемкостта и производствените разходи. Коригирането на неточностите на по-късен етап от технологичния процес (след заваряването) води до влошаване качеството на изделията или до тяхното оскъпяване. В отделни случаи това може да доведе до непреодолими затруднения.

Съществено значение за качественото заваряване на машинните конструкции има последователността на заваряване – не редки са случаите, когато завареното изделие поради неправилна последователност не може да се извади от приспособлението за заваряване.

До тук бяха разгледани някои проблеми, свързани с геометрията на машинните конструкции. Друг съществен проблем е химичният състав на заваряваните стомани. Основната причина за това е, че в машинните конструкции се използват всички видове конструкционни материали, които в редица случаи не са подходящи за заваряване. При неправилен избор на материала може да се предизвика неоправдано оскъпяване на технологията на изработване или да се влоши експлоатационната сигурност на изделието.

В тежкото машиностроене стоманите условно се категоризират според заваряемостта на добре (ВСт2, ВСтЗ, 15К, 20К, 09Г2С, 10Г2С1, 16ГС, 09Г2, 10Г2С1Д, 10ХСНД, 05кп, 08кп, 10кп, 20, 25, 14Г2, 12ГС, 16ГС, 10Г2САФ, 15Л, 20Л и др.), удовлетворително (30, 35, 20Г, 15ГФ, 18Г2С, 17Г2САФ, 25Г2С, 15ХСНД, 25Л, 30Л, 35Л, 20Г2С, 20ГД, 30ГСЛ, 20ХМЛ, 08ГДНФЛ и др.) и ограничено (45, 50, , 30ХГС, 8ХФ, 5ХНМ, 60Г, 50ХГА и др.) заваряеми. Стоманите с добра заваряемост не изискват прилагането на специални технологични мероприятия или не поставят ограничения в технологията на

заваряване. При удовлетворителна заваряемост на стоманите се допуска нискотемпературно предварително загряване (до 300-350°C), както и допълнителна термообработка, но не с оглед осигуряване на номиналните якостни свойства на метала. При стоманите с ограничена заваряемост са необходими различни допълнителни технологични мероприятия, прилагането на които е задължително с оглед постигане на предписаните механични показатели и експлоатационна сигурност на изделието.

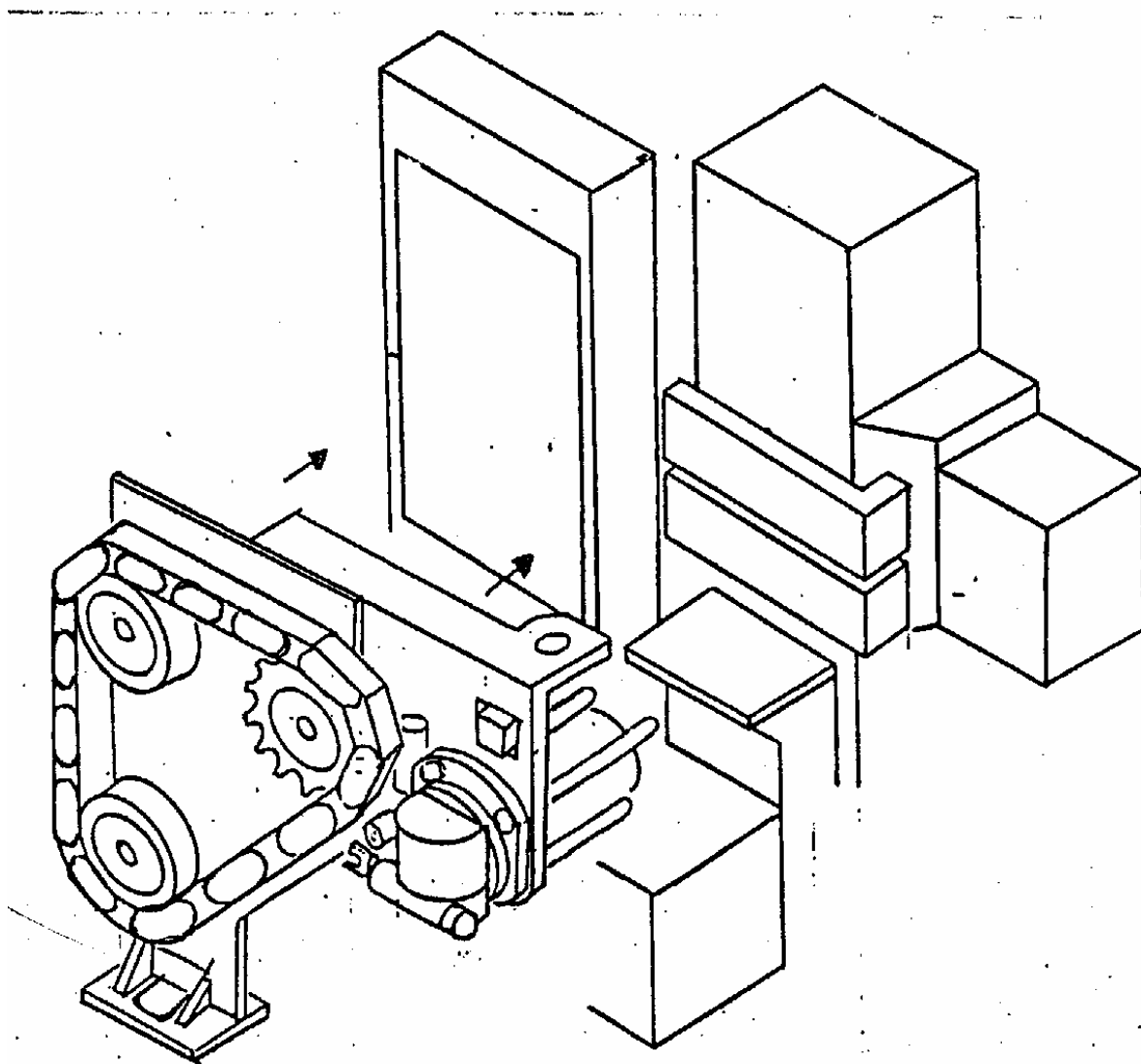
2. Технологична част

2.1 Описание на конструкцията

Завареният възел „Корпус” се явява носещата конструкция на магазина на автооператора на вертикална металорежеща машина с ЦПУ. На фиг.2.1 е показано мястото му в общата схема на машината. Ще разгледаме разположението и предназначението на отделните детайли, влизащи във възела.

Детайл поз.4 „Плоча” е базов, служещ за основа на всички други детайли, влизащи във възела. След заваряването в него се пробиват около 30 отвора (на чертежа не са показани за да не го утежняват) с диаметри от 12 до 110 мм за закрепване на различни елементи, свързани с предназначението на възела. Върху него от лицевата му страна, след пробиване на отвори (след заваряването), се закрепват трите зъбни колела, задвижващи веригата на магазина с режещия инструмент. Тя се задвижва от водещото колело, разположено над скосената част на детайл „Плоча”. Водещото колело, от своя страна, се привежда в движение от електродвигател с редуктор и ремъчна предавка, разположени на задната(скрита) страна на възела. Заварените по контура на задната страна квадратни тръбни профили позиции 5, 15, 18 и 22 служат за увеличаване на коравината и устойчивостта на плочата. Тя е заварена към детайл поз.1 „Основа” за закрепване към хоризонталната основа на машината чрез болтове. Основата от своя страна е олекотена и след заваряването се обработва от долната страна за осигуряване на перпендикулярност между нея и плочата и се пробиват четирите отвора за закрепване с болтовете. Ребрата позиции 2 и 3, както и детайли поз. 23 и 24 служат за увеличаване на коравината. Детайли поз. 20 и поз.21 играят ролята на монтажнo чело за закрепване чрез болтове към вертикална стена на корпуса. След заваряването се пробиват отворите за болтовете и се обработват за постигане на успоредност на равнините на плочата и челата. Възлите от детайли 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16 и 17 служат за разполагане в тях на 3 обтегача на веригата на магазина. Детайли позиции 6, 7 и 9 служат за закрепване на индуктивни датчици за отчитане броя на оборотите на водещото зъбно колело.

Магазинът е с капацитет 30 инструмента, което натоварва възела статично с до няколкостотин килограма (в зависимост от текущия брой на инструментите), които се поемат основно от детайл „Плоча”. При смяната на инструмента възелът получава ударни натоварвания и работи на повторна статика от движението на веригата. Освен това са налице и вибрационни въздействия от силите на рязане!. Предвид нормалните условия на работа шевове не изискват пълен провар.



Фиг.2.1 Схема на предназначението на заварената конструкция

2.2 Използвани материали в конструкцията

Ще представим в табличен вид дебелините на детайлите и материалите, използвани в конструкцията.

Таблица 2.1. Материали, използвани в конструкцията

Детайл №	Наименование	Материал	Кол-во	Дебелина, мм
1	Основа	15XCHД	1	16
2	Ребро задно	СтЗсп	2	12
3	Ребро предно	СтЗсп	2	12
4	Плоча	15XCHД	1	20
5	Профил десен	Ст10	1	2
6	Планка	СтЗсп	1	5
7	Планка	СтЗсп	1	4
8	Планка	СтЗсп	1	16
9	Лист	СтЗсп	1	4
10	Планка	СтЗсп	2	16
11	Планка	СтЗсп	2	16
12	Планка	СтЗсп	1	16
13	Планка	СтЗсп	1	16
14	Планка	СтЗсп	2	16
15	Профил наклонен	Ст10	1	2
16	Планка	СтЗсп	1	20
17	Планка	СтЗсп	2	16
18	Профил ляв	Ст10	1	2
19	Планка	СтЗсп	2	10
20	Опора	15XCHД	2	16
21	Планка	15XCHД	2	14
22	Профил	Ст10	1	2
23	Ребро	15XCHД	2	12
24	Шина	15XCHД	1	16

Заваряемостта на класовете на нисковъглеродните и нисковъглеродните нисколегирани стомани и, по специално, на двата техни типични представителя - СтЗсп и 15XCHД беше разгледана подробно в 1.2; Стомана 10, от която са изработени профилите се характеризира с много добра заваряемост, поради ниското количество въглерод. Посочените стомани са най-близки по състав и свойства до следните стомани по БДС EN 10 025 S235JR – за Ст10 и S275J2G3 – за СтЗсп. Стомана 15XCHД е близка по свойства до стомани S355 по БДС EN 10 225.

Съгласно приетите през последните години от България европейски стандарти за обозначаване на стоманите, следва да се преминава към заменянето и отпадането на обозначенията от близкото минало (предимно по БДС и ГОСТ). Пълно съответствие на химичния състав и на механичните свойства на стоманите по новите и старите стандарти, естествено, не може да има. Възможно е единствено достигане на определена близост по отношение на отделните показатели.

В конкретния случай имаме заварен възел по лицензен чертеж, съгласно който стоманите са по ГОСТ. Поради това не е възможно да се премине към други обозначения на посочените в таблица 19 стомани. Затова са посочени само най-близките по свойства и химичен състав стомани по БДС EN.

2.3 Заваръчни съединения

Както е добре известно от теорията, в заварените конструкции трябва да се предпочитат челните шевове пред ъгловите, защото те имат по-добра носеща способност, по-равномерно разпределение на работните напрежения, създават по-добри условия за механизирани монтаж-заваръчните работи и за прилагане на всички методи на безразрушителен контрол и т.н.

Ъгловите шевове се изпълняват в три основни варианта – усилен, нормален и отслабен. Поради отклоняване на силовите линии разпределението на напреженията в ъгловите шевове е, в общия случай, неблагоприятно и концентрацията на напрежения в сравнение с челните шевове е по-голяма. Към това трябва да се прибави и отрицателното влияние на кратерите в краищата на шевовете.

Т-образните листови съединения се използват много често в заварените конструкции. Тяхната носеща способност е също по-малка от тази на челните съединения.

Характерна особеност на дадената конструкция е наличието единствено на ъглови и Т-образни съединения, за сметка на отсъствието на челни шевове; голямо разнообразие на дебелините – от 2 до 20 мм; наличието на нестандартни шевове – между тръбните профили позиции 5, 15, 18, 22 и детайл поз.4 „Плоча”. В 2.5 ще бъде разгледан въпросът за необходимостта от скосяване на краищата с оглед пълния провар в отделните съединения поради средните дебелини на детайлите.

2.4 Анализ на възможните методи на заваряване и избор на метод на заваряване

2.4.1 Общи положения

Изборът на метод на заваряване е сложна задача, към която трябва да се подходи многостранно. Най-лесно е да се каже, че избраният метод трябва да гарантира изискваното качество при минимални разходи. Въпреки че почти

винаги сме длъжни да се стремим именно към това, обикновено има ограничения, заставлящи ни да правим компромисни решения.

На първо място разбира се е качеството на получаваните съединения. Самият въпрос за качеството е също сложен, тъй като всеки заварен шев сам по себе си нито е добър, нито е лош, макар че може да се получи шев с толкова много дефекти, че реално приложение трудно може да му бъде намерено. Когато казваме, че един шев е нискокачествен, обикновено имаме предвид, че той не съответства на предназначението си. Трябва да се отбележи, че нормативите за качество, приемливи за едни изделия, могат да се окажат прекалено ниски или прекалено високи за други. При конструирането на дадено съоръжение трябва да се разгледат няколко критерия – механични свойства, корозионна устойчивост, съпротивление срещу окисляване, износоустойчивост, херметичност, коравина и т.н. Изискванията за качество в конкретния случай трябва да отразяват степента на влияние на всеки дефект върху най-важните за конструкцията критерии. При сравняване на възможните методи, оценката на качеството трябва отчете и нивото на подготовка на заварчиците. Също важно ограничение са разходите за оборудване: обемът работа може да се окаже недостатъчен за да изплати разходите в нов цех или за преобучение на работниците, поради което често се използва съществуващото оборудване, макар и да изглежда, че разходите за това са по-големи.

Следващият важен въпрос е да се определят действителните разходи при заваряването. На пръв поглед, да се определи стойността на заваряването не е сложно – разходът на материали и времето за заваряване се определят лесно. По тях може да се оцени стойността на метър заваръчен шев за всеки метод и да се сравнят резултатите. Но пълна оценка на разходите не може да се получи. Необходимо е да се вземе предвид взаимната връзка между заваряването и другите технологични операции. Стойността на подготовката на краищата в едни случаи е по-голяма, в други - по-малка. **Ако методът на заваряване води до повишени деформации**, ще бъдат необходими разходи за последващо изправяне на възела и т.н. Когато шевът трябва да бъде равен, използването на методи, даващи шев с минимално усливане, натичания и пръски, намалява разходите за допълнителна механообработка след заваряването. При производството на дребни машинни елементи понижаване на производствените разходи и намаляване на времето за изготвяне се постигат с използване на методи на заваряване, при които нямаме пръски, задимяване и т.н., което позволява заваряването **да се извършва непосредствено до другите видове оборудване – стругове, фрези и т.н.** Тези примери илюстрират необходимостта от разглеждане на заваряването като съставна част от целия производствен цикъл. Те също показват трудността да се определят действителните разходи за заваряване.

Отбелязаните ограничения се изменят от един конкретен случай към друг. Имайки предвид това, ще направим по-общо съпоставяне на методите на заваряване, предполагайки че имаме пълна свобода на избор. Ще допуснем, че

необходимото оборудване и квалифицирани заварчици са лесно достъпни и че спомагателните операции, като например отрязване, могат да се изпълнят по необходимия за заваряването начин.

2.4.1.1 Технически изисквания

Преди всичко е необходимо избраният метод да отговаря на определени технически изисквания. Те се определят от материала на изделието, вид на съединението и организацията на производството. Към всеки от трите аспекта може да се зададат редица въпроси, показващи разнообразието от фактори, които трябва да се отчитат при избора на метод на заваряване. Разбира се, списъкът с въпроси не е изчерпателен, но дава основните насоки за избор на метод.

Въпроси, свързани с материала на изделието

1. Възможно ли е достатъчно добре да се защити металът от окисляване? Ако имаме стомана, всички метода са подходящи. Но ако основният метал е например цирконий, удовлетворително качество се получава по ВИГ-метод, но най-добри резултати дава електроннолъчевото заваряване.

2. Ще предизвикат ли усложнение остатъците от флюс? Една от причините, поради които алуминият се заварява в защитна газова среда е корозията, получаваща се в резултат на непочистена шлака при ръчно електродъгово заваряване.

3. Необходими ли са специални мерки за предотвратяване образуването на пукнатини? При заваряване на високояки стомани количеството водород в шева се регулира по-лесно, отколкото при ръчно електродъгово заваряване.

4. Достъпни ли са за получаване на необходимите заваръчни материали? Например редица заваръчни телове не се произвеждат в България и е необходимо да бъдат внасяни.

5. Възможно ли е да се регулира линейната енергия така, че да има **възпроизводимост** на качеството на заваряването? Такива изисквания налагат да се отдава предпочитание на механизирания методи на заваряване.

6. Има ли особени изисквания, обусловени от физическите свойства на материала? Голямата топлопроводност на медта обикновено ни принуждава да прилагаме предварително подгряване при заваряване чрез стопяване. Изполването на аргоно-хелиева смес при МИГ-заваряване позволява да се заварява без подгряване.

Въпроси, свързани с вида на съединението

1. Челен или ъглов шев ще заваряваме?

2. В какво положение ще заваряваме? Вертикални и таванни шевове трудно се поддават на механизация, но много обмазани електроди са предназначени именно за такива пространствени положения.

3. Налице ли е свободен достъп до заваряваните краища?

4. Каква е подготовката на краищата? Ако е необходимо значително количество разтопен метал, е необходимо да се използват високопроизводителни методи като подфлюсово заваряване и заваряване в защитна газова среда с топим електрод и струйно пренасяне на електродния метал; това спомага за намаляване до минимум на заваръчното време.

5. Необходим ли е пълен провар на корена при заваряване без подложка? Ако това е така, то изборът се ограничава в слабопотоковите методи на заваряване, например аргонодъгово заваряване с волфрамов електрод и МИГ-заваряване с капков пренос на електродния метал, при които е удобно да се управлява заваръчната вана. Може да бъде оправдана и употребата на друг метод, например „заваряване с проникваща дъга” при плазменото заваряване.

Въпроси, свързани с организацията на производството

1. Необходими ли са заваръчни приспособления, стеги или манипулатори?

2. Възможно ли е заваряването да се обедини с други технологични операции?

3. Какви изисквания се поставят относно вентилацията на цеха?

4. Ще бъде ли достатъчна мощността на ел. инсталацията в цеха, в случай на употреба на по-мощни установки?

5. Ще бъде ли налице необходимото техническо обслужване?

2.4.1.2 Себестойност на заваряването

Обикновено завареното съединение може да се постигне в съответствие с техническите изисквания по няколко начина. Окончателният избор на метод на заваряване се определя от себестойността му, ако няма други ограничения, като например липса на необходимите работници.

Себестойността на дъговото заваряване може да се определи по следната упростена формула:

$$C_3 = C_T + C_C + C_{Ц} + C_M + C_K$$

Където C_3 – себестойност на заваряването; C_T – цена на труда; C_C – цена на труда на спомагателните работници; $C_{Ц}$ – централизирани разходи; C_M – стойност на материалите; C_K – цена на капиталовложенията и експлоатационните разходи;

Цена на труда.

Разходите се оценяват сравнително лесно по броя на заварчиците, падащи се на едно заварено съединение. Разбира се, има и изключения, но дори при заваряване на тръби, относителният дял на всеки се определя лесно.

При определяне цената на труда най-трудно се определя времето, изразходвано за образуването на шева, т.е. времето на горене на дъгата. Освен самото разтопяване на метала, в задълженията на заварчика влизат настройване на режима на заваряване, очукване на шлаката, смяна на електродите и базиране на изделията при механизирани методи на заваряване. Има и други пера, свързани с времето на заварчика. Например престой при очакване на детайли или преместване от едно място на друго по технологична необходимост. Изразходва се време за получаване на инструкции за заваряване или обсъждане на отделни особености на конкретния случай на заваряване. Електродите, както и други материали, трябва да се получат от склада. И не на последно място – необходимо е време за почивка, тъй като ръчното заваряване изисква повишено внимание.

На заварчика се заплаща времето от началото до края на смяната. С други думи, изброените незаваръчни работи отнемат част от времето за изработване на изделието и по този начин се съкращава времето необходимо непосредствено за заваряване. Всички „разходи“ на време могат да се групират по следния начин: време на горене на дъгата, време за спомагателни работи, време за изчакване и непроизводствени загуби на време. Съпоставяйки тези разходи е полезно да се използва с коефициента на натоварване – отношение на времето на горене на дъгата към общото време, изразено в проценти:

Коефициент на натоварване = $\frac{\text{Време на горене на дъгата}}{\text{Общо време}} \cdot 100$;

На заварчика основно се заплаща за разтопяване на краищата и заваряване на метала на шева, поради което стремежът е да се постигне повисок коефициент на натоварване. Но заварчикът се нуждае от почивка и трябва да извършва редица спомагателни операции – това ограничава максималния коефициент на натоварване. В някои случаи достигането на теоретично максималния коефициент на натоварване се препятства от МТ-схемата на цеха. Разпределянето на времето на заварчика зависи и от извършваната от него работа. Например заваряването на дълги прави Т-образни съединения коефициентът на натоварване е по-голям, отколкото при заваряване на малки детайли с ъглови шевове към кутиеобразна конструкция.

Избирайки метод на заваряване, трябва да установим кой от тях ще гарантира максимален коефициент на натоварване за извършване на необходимата работа при дадените условия. От казаното по-горе следва, че еднозначно решение обикновено няма. Като правило коефициентът на натоварване е по-голям при непрекъснато подаване на тела, например при заваряване с топящ електрод в защитна газова среда или под флюс. Но предимствата на тези методи са осезаеми, когато се заваряват дълги шевове,

когато времето за изчакване и непроеизводствените загуби са сведени до минимум. Отстранявайки необходимостта от честа смяна на електродите при непрекъснато подаване на тела води до увеличаване коефициента на натоварване в следствие на съкращаването на времето за спомагателни операции. Освен това повишаването скоростта на заваряване води до намаляване на единичното време за заваряване и съответно към повишаване на производителността. Но при заваряването на кратки ъглови шевове предимството на заваряването на високи скорости и отпадането на необходимостта от смяна на електродите са с понижено значение, особено когато съединенията се намират на големи разстояния. В такива случаи се предпочита ръчното електродръгово заваряване с обмазани електроди, чиято висока маневреност позволява да се увеличи коефициентът на натоварване.

Спомагателни работи.

Заварчиците работят предимно самостоятелно или поне, когато заваряват. Но понякога за извършването на дадена работа са им необходими помощници. Стойността на тези допълнителни разходи трябва да се отчита при икономическото съпоставяне на методите на заваряване. Най-добре е да се използват методи на заваряване, изискващи минимални допълнителни разходи. Например при заваряване на високояки стомани е необходимо предварително подгриване. Премаването към заваряване с топящ електрод в защитна газова среда или към подфлюсово заваряване позволява да се намали температурата на подгриване или въобще да се откажем от него, тъй като се понижава количеството на водорода в метала на шева. Въпреки, че това често е достатъчна причина да изберем тези два метода, трябва да се отбележат и други техни предимства: по-лесно съхраняване електродите и по-голяма скорост на заваряване.

Централизиран разход.

Част от централизираните разходи също влиза в себестойността на заваряването. Административното ръководство, управлението на качеството, конструирането, складирането и снабдяването, пласментът, главната дирекция – всичко това се отразява на себестойността на продукцията. Тези разходи се пресмятат различни начини. Един от най-разпространените начини е да се отнасят към работната заплата, като се счита, че представляват 150-300% от нея.

Стойност на материалите.

Когато се сравняват методите на заваряване, най-лесно, изглежда, се пресмятат разходите за материали. Знаейки геометрията на съединението, лесно се пресмята обемът на метала на заварените шевове. Има данни за

разходите на материали за линеен метър заваръчен шев и могат да се определят разходите във вид на пръски, неизползвани електроди и т.н. След което може да се определи необходимото количество електроди, а от там и тяхната стойност. Аналогично, определяйки времето на горене на заваръчната дъга може да се пресметнат разходите за ток, защитен и заваръчен газ, охлаждаща вода.

Заменяемите детайли и възли на оборудването може да се разглеждат като част от разходите за материали. Но към тези разходи различните фирми подхождат различно – едни ги отнасят към разходите за материали, а други - към експлоатационните разходи. Тези разходи могат да бъдат значителни, следователно трябва да се отчетат, сравнявайки методите за заваряване, независимо от това към кой вид разходи се отнасят.

Капиталовложения и експлоатационни разходи.

Последният от изброените елементи е стойността на основното оборудване и разходите по поддръжката му. Очевидно оборудването за механизирано заваряване е по-скъпо от това за ръчното. Настоящите цени могат да бъдат посочени, но по-удобно е да се използва относителната стойност на оборудването, приемайки цената на оборудването за ръчно електродъгово заваряване за единица:

Таблица 2.2. Относителни цени на заваръчното оборудване в Англия

Метод на заваряване	Относителна цена
РЕДЗ	1
АДЗ	2,5
МИГ	3
Подфлюсово	12
Електрошлаково	20

Стойността на оборудването, „изразходвана“ за заваряването на даден детайл, зависи от степента на натоварване и от амортизационните отчисления, установени от счетоводството. Често те представляват много малка част от общите разходи.

Експлоатационните разходи е трудно да бъдат определени предварително и обикновено тяхната оценка се базира на предишен опит. При ръчно електродъгово заваряване експлоатационните разходи са много ниски, особено при хранване от трансформатор. Апаратите за МИГ/МАГ заваряване и за механизирано заваряване изискват редовно техническо обслужване и профилактика и тези разходи е необходимо да бъдат отчетени. Те са в размер на около 5-15% от стойността на апарата, в зависимост от това към коя група разходи се отнасят детайлите от рода на токоподвеждащата дюза – към разходите за материали или към експлоатационните разходи.

2.4.1.3 Изводи

По-горе показахме, че изборът на метод на заваряване е сложен въпрос. В много случаи са налице ограничения, не позволяващи да се вземе идеалното решение, и се налага да се вземе компромисно решение. Вероятно най-важното е, че изборът не следва да се прави без щателен анализ на всички фактори, независимо от това има ли ограничения или не. Може да отбележим следните отпирани положения.

1. По-голямата част от материалите, използвани в заварените конструкции, позволяват голям избор от методи за заваряване.

2. Всички методи на заваряване, обикновено използвани в производството, могат да дават шевове с високо качество.

3. Основният технически проблем, възникващ при избора на метод за заваряване, е достъпността на необходимите материали.

4. Трудността за постигане на заваръчни шевове с високо качество силно зависи от метода на заваряване и това следва да се отчита при избора му. Изключение представлява само заваряването на нисковъглеродни стомани.

5. Необходими са работници със съответната квалификация. При ръчните методи на заваряване изискванията, предявявани към квалификацията на работниците са ясни и познати на всички, работещи в промишлеността. За заваряване чрез по-сложните методи са необходими хора с опит в обслужването и настройването на оборудването. Необходимостта от такъв опит не е очевидна и при първоначално сравнение може да бъде пропусната.

6. Икономическият анализ трябва да бъде свързан с реалните условия на производство, а не да се базира само на теоретичен модел.

И, в крайна сметка, не е задължително при избор на метод да се спираме само на един вид заваряване. Най-голяма ефективност често се постига чрез използване на няколко метода, дори и при изпълняването на едно съединение.

От всичко казано дотук, имайки предвид особеностите на разглеждания възел, можем да се спрем на следните възможни методи за заваряване: ръчно електродъгово заваряване с обмазани електроди, аргондъгово заваряване ВИГ-заваряване, МИГ/МАГ-заваряване, плазмено заваряване, **роботизирано заваряване**.

2.4.2 Ръчно електродъгово заваряване с обмазани електроди

Без съмнение ръчното електродъгово заваряване с обмазани електроди е най-разпространеният и универсален дъгов процес. Необходимото оборудване е сравнително евтино и лесно за експлоатация, а заварчикът има голяма свобода на предвижване и може да заварява в различни пространствени положения и места, които са трудно достъпни за механизирани методи за заваряване.

Като недостатъци могат да се отбележат: ниска производителност; повишено **димоотделяне**; 15-20% от електрода се губят във вид на отпадък; като добавим към това и загубите от пръски и изгаряне общите загуби представляват до 30% от теглото на електрода;

В конкретния случай възелът е подходящ за заваряване с обмазани електроди, като се отчете необходимостта на правилен избор на електрод, предвид това, че заваряваните стомани са с различни марки. Такъв електрод би могъл да бъде например (съобразено с ВСтЗсп) ихтиманският „Вежен”.

2.4.3 Аргонодъгово ВИГ-заваряване

Заваряването в инертни газове на нисковъглеродните и нисколегираните стомани се прилага рядко, тъй като тези стомани се заваряват добре подфлюсово и в CO_2 . Само в изключителни случаи, когато е необходимо получаване на шевове с високо качество, се използва инертен газ. Например при заваряване на корена на тръбни шевове. При този метод управлението и контролът на заваръчната вана са по-лесни.

При използване на **чист аргон**, заварените съединения се характеризират с недостатъчна стабилност и недобра форма на шева, поради по-високо повърхностно напрежение на металната капка. За неговото намаляване може да се препоръча използването на специална горелка с подаване на аргон и въглероден диоксид от две отделни концентрични дюзи, като инертният газ е от вътрешната страна, предпазвайки електрода от окисляване.

Недостатък на този метод, при заваряване на нисковъглеродни и нисколегираните стомани, е склонността към образуване на пори. Причина за тях е основно CO , който се образува при взаимодействието на FeO и C , и е неразтворим в течния метал. При кристализацията на метала на шева газовите мехурчета могат да не успеят да напуснат течния метал и биват „заловени” от втвърдяващия се метал. Това може да се избегне като се използва добавъчен тел, съдържащ откислители като Mn и Si , които при тези температури имат по-голям афинитет към кислорода, отколкото въглерода.

Друг недостатък на този метод е по-високата му цена, което, както вече стана въпрос, е фактор от голямо значение.

2.4.4 МИГ/МАГ-заваряване

МАГ-заваряването се извършва в среда от CO_2 . Този газ е химически активен и в зоната на дъгата се разлага на кислород и въглероден окис. Силицийт и манганът, съдържащи се в заваръчния тел откисляват метала и предотвратяват образуването на пори като изместват въглеродния атом от въглеродния окис. Методът се отличава с голяма производителност (дълбочината на провара е по-голяма отколкото при подфлюсовото заваряване).

Заваряването на нисковъглеродни и нисколегирани стомани по МИГ-метода се отличава с получаването на качествени съединения. Въпреки това приложението му е твърде ограничено, тъй като е по-скъпо от другите методи и особено от заваряването в CO_2 . Освен това дъгата гори недостатъчно устойчиво, а поради липсата на кислород в зоната на дъгата заваръчната вана става изпъкнала и отстъпва от краищата, като при това се получават подрези. Оптимален вариант е използването на газови смеси например $\text{Ar} + 5\%\text{O}_2 + 5-15\%\text{CO}_2$; $\text{Ar} + 15-25\%\text{CO}_2$ и др. Това подобрява плътността и якостта на шева, намалява пръскообразуването и има икономически ефект. Изборът на конкретна газова смес съвсем не е прост, тъй като се основава на поведението на дъгата, пръскообразуването, профила на шева, провара и стойността. Даже стойността не трябва да се подценява, защото тя зависи от начина на газозахранване: от отделни бутилки с газ или централно; сместа се получава готова или се смесва на място и т.н. Заварява се с постоянен ток (обратна полярност). Като електродни телове се използват Зв-08А(С05W), Зв-08ГА(08Mn4W), Зв-08Г2С(08MnSi8-3W). Използването на въглероден диоксид, както чист, така и с аргон, не се използва за стомани съдържащи хром – въглеродният окис взаимодейства с хрома и ,образувайки карбиди, намалява съдържанието на този легиращ елемент в стоманата.

Заваряването в защитна газова среда в много случаи конкурира заваряването с обмазани електроди. То е значително по-производително, но са необходими по-скъпо струващо оборудване и материали. Качеството на заварените съединения е приблизително еднакво и изборът на метод се обосновава на стойността му. При заваряване на по-големи дебелини високата прозводителност „накланя везните” в полза на МИГ/МАГ заваряването.

2.4.5 Плазмено заваряване

Плазменото заваряване се прилага при нисковъглеродните, средно- и високолегирани стомани, цветните метали и сплави с дебелина до 15-20 мм. По този метод се изпълняват челни, ъглови и с огънати краища предимно в долно положение. Според дебелината на материалите се различават три типа технологии и техника на заваряване: за малки дебелини до 3 мм; за средни дебелини от 3 до 7 мм; за големи дебелини над 7 мм.

Плазменото заваряване на материали с дебелина под 3 мм (както е в случая с тръбните профили позиции 5, 15, 18 и 22) е много близко по техника и технология на аргонодъговото заваряване с нетопим електрод. Предимството на плазмения метод се състои в това, че дъгата е много стабилна и процесът на заваряване не е така чувствителен към колебания в разстоянието между плазмотрона и повърхността на изделието. При заваряването на ъглови шевове е наложително добавянето на материал във вид на тел. Плазменото заваряване на ъглови шевове не е за препоръчване, тъй като отстъпва по производителност на другите методи (например МИГ).

Плазменото заваряване на материали с дебелини над 7 мм се прилага предимно за челни шевове при средно- и високолегирани стомани, титанови и други специални сплави. Изпълнението на ъглови заваръчни шевове се практикува в изключителни случаи като заваряването става с добавяне на тел. Подготовката на краищата е като при ВИГ-метода.

2.4.6 Роботизирано заваряване

Икономическата целесъобразност от внедряването на роботите се достига в резултат на по-голямата производителност, постоянното качество и повишената сменност в работата, обусловени от автоматизирания ход на производството.

Роботизирането в случая е подходящо, тъй като дадената конструкция се отличава предимно с Т-образни съединения, а както е известно, те и близките до тях са най-удобни за този метод на заваряване поради факта, че при тях са най-малки проблемите, свързани с поддържането на заваръчната вана, а също така за тях са най-добре разработени сензорните системи за водене на дъгата.

Конструктивната пригодност за роботизирано заваряване, разбира се, не е достатъчна за да се спрем на него. Трябва да се направи и оценка на началните капиталовложения, която да покаже необходимостта от този метод. Като критерий за ефективност може да служи например времето за възвръщане на вложените средства. За заваръчната техника се смята, че това време не трябва да превишава 5 години.

2.4.7 Избор на метод на заваряване

С оглед направените разсъждения, имайки предвид конструктивните особености на изделието, производителността на метода, заваряваните стомани, годишната програма от 500 бр. годишно и, допускайки, че разполагаме **с владеещите техниката на заваряване сертифицирани работници**, можем да приемем, че методът на заваряване в защитна газова среда от коргон ($82\% \text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$) с топим електрод е напълно подходящ за случая.

2.5 Технологични операции по подготовка на краищата

Изборът на типа заварено съединение зависи главно от три съображения: изисквания за плавен силов поток в изделието; намаляване до минимум времето за изработване; производствените възможности и на първо място – метода на заваряване. В конкретния случай по отношение на плавния силов поток няма възможност за голямо вариране, тъй като съединенията във възела са ъглови и Т-образни. Тяхното предимство е по-ниската цена в сравнение с челните. От съображения за заварорационално конструиране трябва да се ограничава дебелината и дължината на шевовете. Това важи с особена сила в нашия случай, където са налице ъглови съединения, а както е известно при

тях обемът наварен метал и времето на заваряване са в квадратна зависимост от дебелината на шева. Намаленият обем на шева, поради по-малкото количество топлина на единица дължина стеснява зоната на термично влияние, намалява разхода на материали и труд.

В нашия конкретен случай повечето заварени съединения са свързващи, а не – работни. Това обяснява възможността за заваряване без скосяване на всички ребра, влизащи в сборката. От друга страна детайлите, служещи за базиране на обтегачите на зъбните колела, на са подложени на значителни натоварвания и също могат да не се скосяват преди заваряване.

2.6 Режими на заваряване

Предвид многото видове заварени съединения е целесъобразно, с цел да се намали обемът от данни, да ги разделим, доколкото е възможно, на групи със сходни режими.

В първата група ще влязат детайл поз.4 „Плоча” и заваряваните към него детайли позиции 1, 2, 3, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 23 и 24.

Във втората група ще влязат подвъзелът, образуван от детайли позиции 6, 7 и 9, както и заваряването им към базовия детайл.

В третата група ще бъдат детайл поз.4 и четирите заварени към него тръбни профила.

Преди да преминем към определянето на конкретните режими на заваряване ще се спрем на съображенията, които се вземат предвид в общия случай.

Параметрите на режима на заваряване включват марката и диаметъра на електродния тел, начина на капкопренасяне, вида, полярността и големината на тока, напрежението на дъгата, индуктивността на дросела, скоростта на заваряване, дебита на защитен газ, наклона и движенията на електрода[11].

Марката на електродния тел се избира в зависимост от заварявания материал. В случая имаме две марки стомани. Заваръчен тел Зв-08Г2С(08МnSi8-3W) удовлетворява и двете марки стомани.

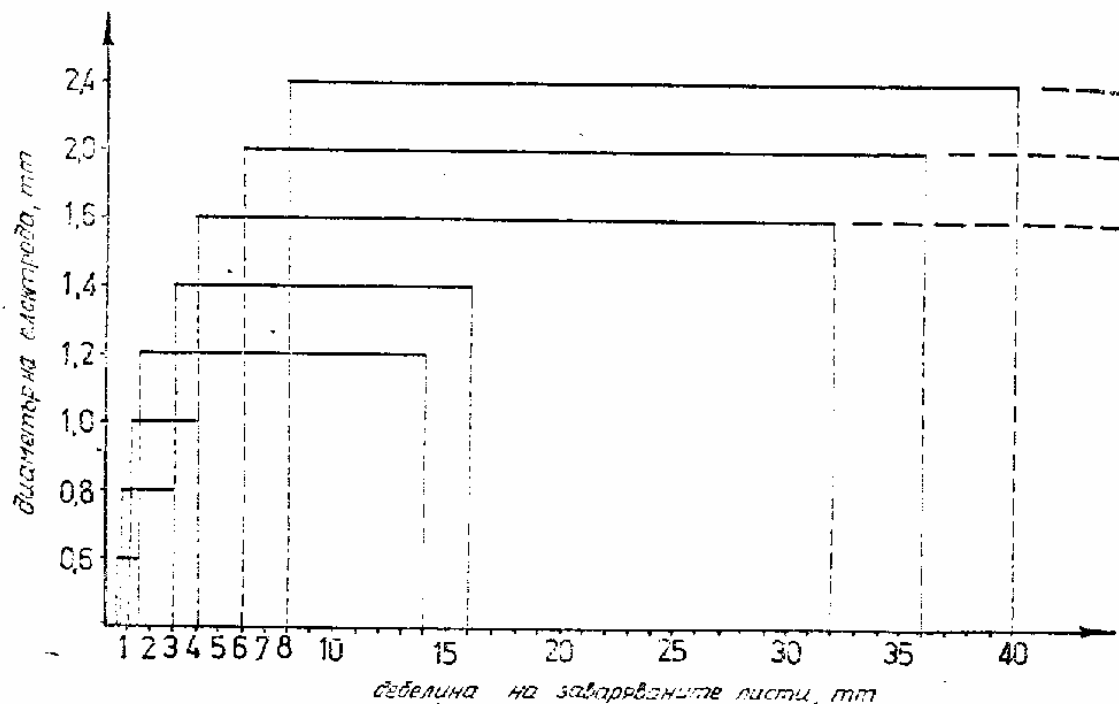
Начинът на капкопренасяне се определя от стойностите на напрежението на дъгата и заваръчния ток. Капкопренасянето с чести къси съединения (ЧКС) се характеризира с по-малки стойности на напрежението и заваръчния ток, а горенето на дъгата в един цикъл се редува с късо съединение, при което топлината се отделя предимно в излиза на електрода, а не в заваряваното изделие. Това определя по-малката, бързокристализираща заваръчна вана, от което следва и областта на приложение на този начин на капкопренасяне: тънки ламарини, заваряване на тънки и дебели ламарини в таванно и вертикално положение, наваряване (поради по-малкия провар).

При капкопренасянето без къси съединения (БКС) обратно се използват по-големи напрежения и токове, а дъгата гори без прекъсване. Това осигурява силното загряване на основния метал, необходимо за получаване на голям

провар и висока производителност на заваряване. Поради тези причини заваряването БКС се използва за заваряване на големи дебелини в долно положение. То не е подходящо за заваряване в пространствени положения, тъй като се образува голяма по обем заваръчна вана.

Поради средните по големина стойности на заваръчния ток и напрежението междинният начин на капкопренасяне с редки къси съединения се използва за заваряване на средни дебелини, предимно в долно положение.

Диаметърът на електрода се избира по дебелината на заварявания материал. На фиг.2.2 ориентировъчно са посочени стойностите на заваряваните дебелини с различни по диаметър заваръчни телове за челни съединения в долно положение.



Фиг.2.2 Диаметър на електродния тел в зависимост от дебелината на заварявания материал (Зв-08Г2С – обратна полярност, нисковъглеродна стомана, долно положение)

Теловите с диаметри под 1 мм имат сравнително ограничен обхват на заваряваните дебелини, докато телите с диаметри 1,2-1,6 мм се използват за преобладаващия обхват от заваръчни дебелини. Когато се подбира диаметърът на тела, трябва да се съобразява и фактът, че по-големият диаметър обуславя и по-висока производителност на труда. Не трябва да се забравя и това, че по-големите диаметри на тела са по-евтини, тъй като намаляват операциите по допълнителното изтегляне за намаляване на диаметъра. Фактор, който ограничава избора на по-голям диаметър на електродния тел, е положението на заваряване. Освен това при определен заваръчен ток преминаването към по-малък диаметър на електрода води до увеличаване на броя на преминаващите капки и намаляване на средния им диаметър, което подобрява външния вид на шева. В случая целта е да

подберем един диаметър на електрода за всички заваръчни съединения. Ще се спрем на диаметър 1,2 мм.

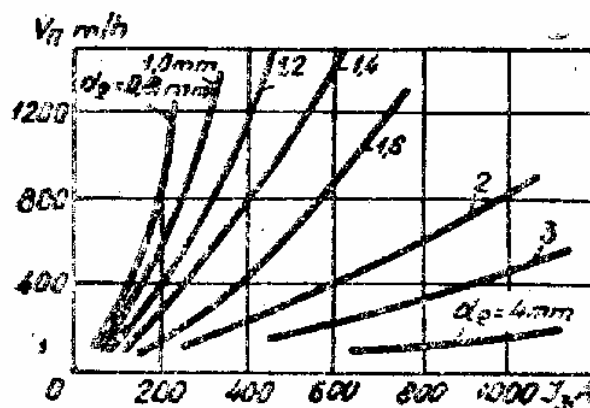
При МАГ-заваряването се използва постоянен ток с обратна полярност. При заваряване с права полярност се намалява устойчивостта на горене на дъгата, нараства количеството на пръските, увеличава се количеството на водорода в шева, влошава се формирането му, намалява се дълбочината на проваряване, и се увеличава относителния дял на електродния метал в шева. Това увеличение определя намаленото общо въглеродно съдържание на метала на шева, а следователно и по-малката му склонност към образуване на горещи пукнатини. Тези му особености определят ограничената област на приложение на МАГ-заваряването на права полярност за поправяне на дефектни отливки и наваряване.

За всеки определен диаметър на електрода има и определен обхват на ползвания заваръчен ток. Токът се регулира чрез скоростта на подаване електродния тел. Колкото е по-голяма скоростта на подаване, толкова е по-голям и заваръчният ток (фиг.2.3). Дъгата се саморегулира така, че разтопява цялото подавано и количество тел. Между заваръчния ток и напрежението на дъгата съществува определена зависимост. На определена стойност на тока не може да се настрои произволно напрежение на дъгата. Дъгата гори устойчиво само в определени граници на напрежението и видът на капкопренасянето е във функция на него. В таблица 21 са дадени граничните стойности на тока за най-често използваните диаметри със съответните скорости на подаване на електродния тел при капкопренасяне без и с къси съединения.

Таблица 2.3. Заваръчен ток и съответни скорости на подаване на електродния тел при капкопренасяне без и с къси съединения

Диаметър на ел-да, мм	Ток, А(скорост на подаване на ел-да, м/мин)	
	Капкопренасяне БКС(30-45V)	Капкопренасяне с ЧКС(16-22V)
0,8	150-250(5,08-15,2)	60-160(2,54-7,7)
1,2	200-350(5,08-15,2)	100-175(2,03-3,8)
1,6	350-500(5,08-8,9)	120-180(1,52-2,03)
2,4	500-750(3,8-7,6)	150-200(1,27-1,52)

Минималните стойности на тока са ограничени от минимално необходимия брой на пренасяните в дъгата капки за секунда (съответно при капкопренасяне без или със къси съединения) за добро оформяне на шева. Горните граници на тока за малките диаметри на електродния тел Ø0,8 и Ø1,2 мм са ограничени от максимално възможната скорост на подаване на електрода на апаратурата (обикновено около 15м/мин.). За диаметри на електрода Ø1,6 и Ø2,4 мм ограничението се налага от влошените вид и форма на шева при големи токове.

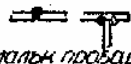


Фиг.2.3 Заваръчен ток I_3 в зависимост от скоростта на подаване на електрода

Заваръчният ток е основният фактор, определящ дълбочината на проваряване и производителността на разтопяване на електрода. В сравнение с подфлюсовото при МАГ-заваряването дълбочината на проваряване е по-голяма. Това се обяснява, от една страна, с ползваните големи токови натоварвания на електродните телове, с което вътрешното налягане на дъгата е по-голямо, и от друга, с липсата на разтопен флюс върху заваръчната вана. Тези два фактора обуславят по-активното изтласкване на разтопения метал под дъгата, с което се постига по-голяма дълбочина на проваряване (разтопеният метал е лош проводник на топлина).

Напрежението на дъгата е един от най-съществените параметри на режима на заваряване. То се установява чрез предварително задаване на напрежението на прав ход на източника на ток. Последният нормално има леко падаща характеристика, така че работното напрежение е винаги (в зависимост от наклона на характеристиката) по-ниско от напрежението на празен ход. С установяване на напрежението на празен ход фактически се предопределя и начинът на капкопренасянето (фиг.2.4). Нисковото обхват от 16 до 22V при съответна големина на тока за диаметри на тела от 0,8 до 2,4 мм определя капкопренасяне с чести къси съединения, а високоволтовият 30-40V – капкопренасяне без къси съединения. Междинните стойности 22-28 V определят и междинния начин на капкопренасяне с редки къси съединения. По-ниските стойности на напреженията във всеки обхват се използват за по-малките диаметри на електродния тел при по-малки стойности и на заваръчния ток. При определяне стойността на напрежението трябва да се имат предвид следните противоположни влияния на понижаването(съответно повишаването) на напрежението. Колкото по-ниско е напрежението, толкова по-малки са загубите от изгаряне на откислителите на електродния тел (Mn, Si, Al, Ti и др.). От друга страна, формата на шева при по-ниско напрежение става по-неблагоприятна – по-тесен и по-силно изпъкнал шев без плавен преход към повърхността на заваряваните детайли. Това се дължи на пряката зависимост между напрежението на дъгата и дължината и. По-дългата дъга обуславя по-широк шев с по-плавен преход към

повърхността на заваряваните детайли и с по-малко усилване. Твърде съществен е и фактът, че при по-ниски напрежения количеството на пръските намалява.

вид на капкопренасянето	напрежение на дъгата, V	диаметър на електрода, mm			
		0,8	1,2	1,6	2,4
с къси съединения [чести]	16-22	60-160A  малък пробар за тънки материали	100-175A  добро регулиране на пробарването на корено-и сплавянето	120-180A  добро славяване вертикално зваряване на големи дебелини	150-200A  обикновено не се използва в практиката
нормално [с къси съединения - редки]	24-28	150-250A  автоматично заваряване на ъглови шевове	200-300A  автоматично заваряване на хоризонтално-вертикални шевове	250-350A  автоматично заваряване на шевове в долно положение	300-400A  обикновено не се използва в практиката
без къси съединения	30-45	150-250A  добро пробарване с 220A	200-350A  многократно автоматично заваряване	300-500A  дълбоко пробарване, долно положение	500-750A  дълбоко пробарване, висока производителност на заваряване при големи дебелини

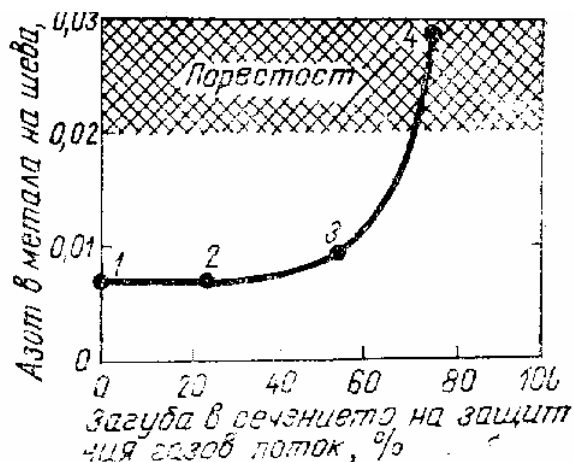
Фиг.2.4 Заваръчен ток за определени положения на заваряване в зависимост от диаметъра на електрода, напрежението на дъгата и вида на капкопренасянето

Посредством вмъкване на електрически дросел с подходяща индуктивност става възможно регулирането на скоростта на нарастване на тока при късо съединение, която определя устойчивостта на процеса, формата, вида и качеството на шева. Особено чувствително към необходимата индуктивност в заваръчния кръг е заваряването с капкопренасяне чрез къси съединения.

Увеличаването на скоростта на заваряване, като се започне от минималните и стойности, е съпроводено първоначално с повишаване на дълбочината на проваряване до определена гранична скорост. Това се дължи на подобреното изтласкване на течния метал на заваръчната вана от дъното и, с което за топлинното действие на дъгата се откриват неразтопени части от основния метал. По-нататъшното увеличаване на скоростта на заваряване става при значително понижаване на топлинната енергия на единица дължина от шева, вследствие на което дълбочината на проваряване, както и напречното сечение на шева прогресивно намаляват.

За да се осигури ефективна газова защита първото условие е да се създаде ламинарна струя от защитен газ. Факторите, които влияят на ламинарността на потока от защитен газ, напуснал газовата дюза, са съотношението на дължината към диаметъра на газвата дюза (колкото е по-голямо, толкова по-добре), дебита на защитен газ (за всяко сечение на газовата дюза съществува определен минимален и максимален дебит), липсата на препятствие в потока – грапави стени, остри ръбове, натрупани

пръски върху газовата и контактната дюза, които създават завихряния, при които в струята се включва въздух, съдържанието на азот в шева се увеличава и в него се образуват шупли (фиг.2.5).

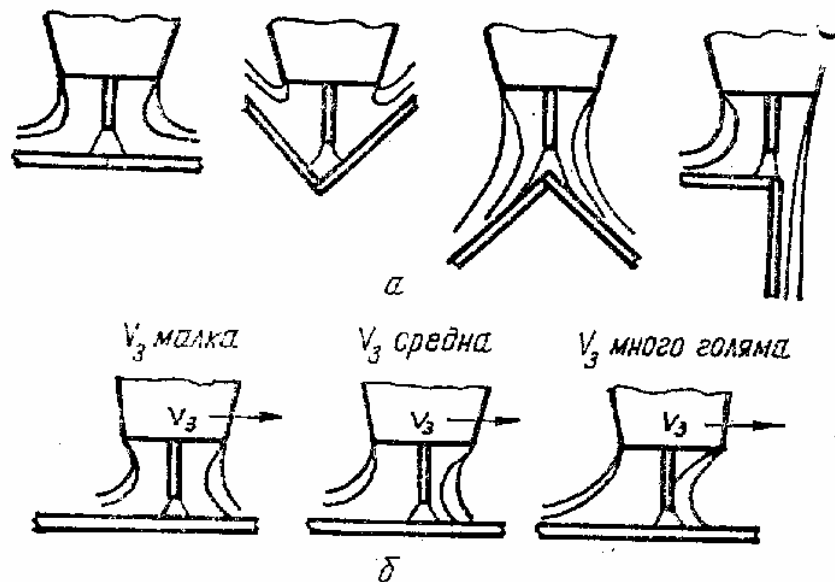


Фиг.2.5 Ефект от появата на „пръстен“ от пръски върху газовата и контактната дюза, предизвикващи турбулентност в защитния поток и като следствие повишено съдържание на азот в шева и порестост

Второто условие е установеният ламинарен поток, изтичащ от газовата дюза, да покрива плътно разтопения край на електродния тел, преминаващите капки през дъговия промеждутък и самата заваръчна вана до пълното и кристализиране. За целта той трябва да се насочва директно върху заваръчната вана. Колкото при по-голяма линейна енергия се работи, толкова по-големи трябва да са диаметърът на газовата дюза и дебитът на защитен газ, тъй като заваръчната вана също е по-голяма по размери. Електрододържачите за телове Ø0,6 мм и Ø0,8 мм обикновено се изработват с диаметри на газовата дюза 10-12 мм, тези за диаметри на тела до 1,2 – с диаметри до 18 мм, а електрододържачите за тел Ø1,6-Ø2 мм – с диаметри от 22 до 24 мм.

В някои практически случаи доставянето на газ концентрично на електрода е затруднено. Тогава се практикува странично подаване на газ по тръби или дюзи. В такива случаи пръските влияят по-малко върху влошаването на газовата защита, тъй като мястото на газоподаването остава встрани от зоната с максимална пръсконаситеност. Ефективността на газовата защита се влияе в значителна степен от типа на заваръчното съединение и скоростта на заваряване (фиг.2.6). Докато при заваряване на челни и особено вътрешни ъглови шевове тя може да е много добра, при заваряване на външни ъглови шевове тя е по-лабилна (фиг.2.6а). При много големи скорости на заваряване е възможно засмукване на въздух в заваръчната зона (фиг.2.6б). И в двата случая за подобряване на защитата се изисква ползването на газови дюзи с по-голям диаметър и разход на защитен газ. От значение е и устойчивостта на струята срещу външни въздействия. За повишаване на тази устойчивост се препоръчва увеличаването на разхода на газ. Същевременно

прекалено големите дебити на на газа могат да доведат до турбулентност на потока и да влошат защитата. Така например за дюза с диаметър 16 мм е допустимо увеличаването на дебита до 28 л/мин. Над тази граница газовият поток е турбулентен. Колкото по-близо до заваръчния шев е газовата дюза, толкова по-ефективна е защитата, но толкова по-трудно се наблюдава заваръчната вана и толкова повече пръски полепват по контактната и газовата дюзи, толкова по-висока е температурата на дюзите, до която те се нагряват от дъгата и от заваръчната вана. Затова разстоянието трябва да е малко, но да осигурява достатъчно добра видимост на заваръчната вана.



Фиг.2.6 Влияние на типа на заваръчното съединение (а) и скоростта на заваряване (б) върху ефективността на газовата защита

При заваряване с ъгъл напред газовата защита се подобрява, а при заваряване с ъгъл назад и особено при големи заваръчни скорости – се влошава. В последния случай понякога се използват удължени по посоките на заваряване форми на сечението на газовите дюзи или изтегляне на контактната дюза назад от геометричния център на кръглата газова дюза.

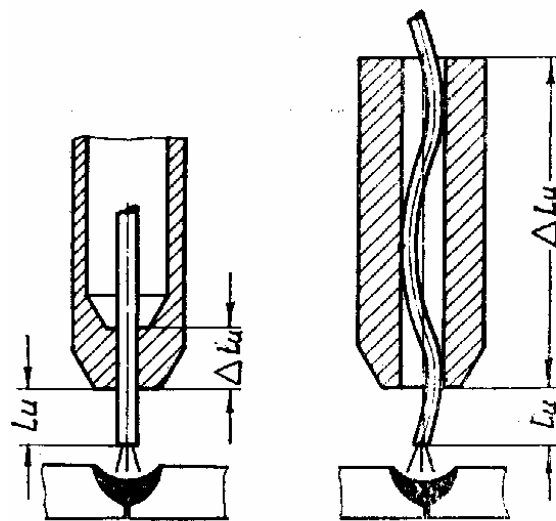
Излазът на електрода е параметър, който влияе силно на стабилността на процеса при диаметри на електродния тел от 0,8 до 1,0 мм и все по-слабо при диаметри над 1,2 мм. Големината му зависи от диаметъра на електрода, от относителното електрическо съпротивление на материала на електрода и големината на тока. При установена скорост на подаване на електрода измененията на излаза влияят върху големината на тока. За електроди от марките Зв-08ГС(08Мп4W) и Зв-08Г2С(08МпSi8-3W) ориентировъчните стойности на излаза са посочени в табл. 2.4.

Таблица 2.4 Ориентировъчни стойности на излаза на електрода

Диаметър на електрода, мм	Дължина на излаза, мм
0,6	7-9
0,8	8-10
1,0	8-11
1,2	10-14
1,4	12-16
1,6	16-20
2	20-24

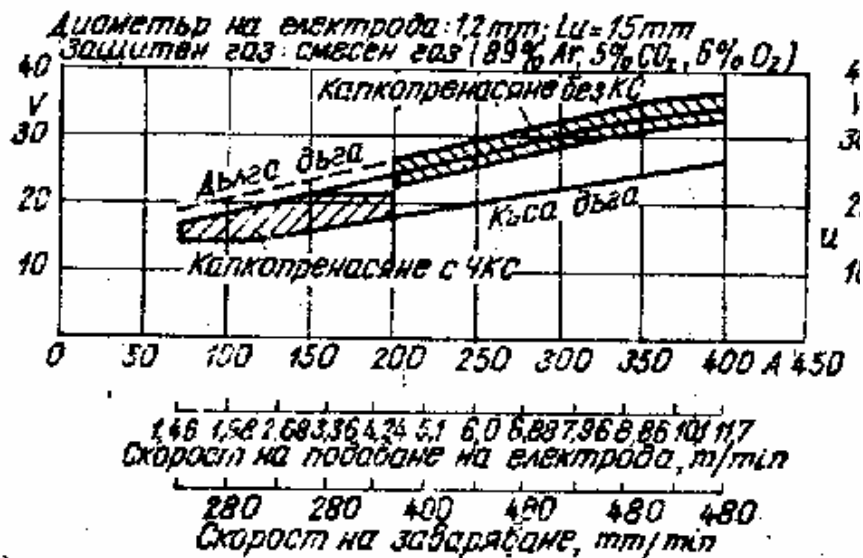
От таблицата се вижда, че грубо може да се приеме, че дължината на излаза е 10-12 пъти по-голяма от диаметъра на електрода. Точните стойности се вземат от таблиците за режимите на заваряване на различните типове съединения. Колкото по-голям е излазът, толкова по-малка е големината на тока. Това се получава в резултат на нарастването на електрическото съединение на излаза, от една страна, поради увеличената му дължина, а от друга – от повишената му температура при протичането на тока (ефект на Джаул). В резултат на такова изменение ще се получи намаляване на проваряването. При още по-големи излази на електрода падът на напрежението вследствие прекомерно голямото електрическо съпротивление става толкова голям, че дъгата загасва – за нея „не достига” напрежение, стабилността на процеса се нарушава. Увеличаването на излаза влияе отрицателно и на ефективността на газовата защита. При много малък излаз видимостта на заваръчната зона се влошава, натрупването на пръски по газовата и контактната дюза се увеличава, с което се влошава и газовата защита. Увеличава се и вероятността от приваряване на електрода към контактната дюза. За запазването на постоянен излаз на електрода не е достатъчно спазването на постоянно разстояние на върха на токовата дюза до повърхността на изделието. Възможни са и показанията на фиг.2.7 изменения на действителния излаз на електрода при използване на износена дюза, която има по-голям от необходимия диаметър на отвора. Възможните изменения в дължината на излаза са много по-малки при контактни дюзи със степенен вътрешен диаметър, отколкото при такива с един вътрешен диаметър.

ПРАВИЛНО НЕПРАВИЛНО



Фиг.2.7 Възможни изменения на дължината на действителния излаз ($L_{И} + \Delta L_{И}$) при две различни конструкции на контактната дюза ($\Delta L_{И}$ се изменя от 0 до максимум)

При избора на конкретните за всеки отделен случай режими могат да се използват таблични данни, както и диаграмите на Мунске. Последните обхващат по-голямата част от параметрите на режима на заваряване в графичен вид. Ще приведем една такава примерна диаграма[11] (фиг.2.8).



Фиг.2.8 Обхват на възможните заваръчни режими при защитногазово заваряване; диаметър на електрода 1,2 mm, защитен газ – газова смес (89%Ar+5%CO₂+6%O₂)

Оградената от правите линии област представлява областта на устойчиво горене на дъгата. Уточненият режим на заваряване изисква

допълнително донастройване на параметри , като индуктивността на дросела (ако заваръчната машина има възможност за това), излаз на електрода, дебит на защитен газ, движения на електрода и т.н., които не могат да се получат от диаграмите. В левия долен ъгъл на площта на устойчиво горене на дъгата се намира участъкът на горене на дъгата с ЧКС, в съседство с него са режимите на заваряване с РКС, с изместване по-вдясно и по-нагоре се влиза в участъка на горене на дъгата БКС. При използване на диаграмата трябва да се има предвид, че посочените в нея стойности са верни при използване на заваръчен електрод с обикновен химичен състав за CO_2 заваряване или заваряване със смесен газ, близък по състав до посочения, при обикновено използваните дължини на излаза на електрода и при нормално състояние на заваръчната машина (подходящи сечения на заваръчните кабели, нормални преходни електрически съединения и т.н.)

При използване на диаграмите трябва да се има предвид следното:

- монтираните на източниците на ток волт- и амперметри да са проверени и да показват верните стойности на напрежението и тока;
- да се предпочитат работни точки, лежащи на средната плътна линия. В тези случаи при смущения в горенето на дъгата, дължащи се например на задръжки в подаващия механизъм, краткотрайни изменения в захранващото напрежение, внезапни удължавания или скъсявания на дъгата, работната точка няма да се окаже извън областта на устойчиво горене на дъгата, т.е. дъгата няма да изгасне. Ако се работи на граничната линия или в непосредствена близост до нея, при смущения има опасност да се получат изгасвания на дъгата;
- необходимо е да е известен наклонът на статичните характеристики на източника на ток, с който се работи.

Ще приведем като пример и таблица от [12] за ориентировъчно определяне на режимите на заваряване.

Таблица 2.5 Режими на заваряване на ъглови шевове (без скосяване на краищата, постоянен ток, обратна полярност, електроден тел Зв-08ГС, Зв-08-Г2С)

Дебелина на краищата, mm	Катет на шева, mm	Защитен газ	Диаметър на електрода, mm	Заваръчен ток, А	Напрежение на дъгата, V	Скорост на заваряване, m/h	Излаз на електрода, mm	Разход на газ, l/m/h	Изпълнение на шева	Положение на заваряване*
0,8—1,0	1,2—1,5	CO_2	0,7—0,8	70—110	17—19,5	30—50	8—10	6	С наклонен електрод	Д, ВД, Т
1,2—2,0	1,5—2,0	"	0,8—1,2	110—140	18,5—20,5	30—50	8—12	6—7	"	"
2,0—3,0	2—3	"	1,0—1,4	150—210	19,5—23,0	25—45	8—15	6—8	"	"
4,0—6,0	2,5—4,0	"	1,0—1,0	170—350	21,0—32,0	23—45	10—15	7—10	"	Д, ВД
6,0—10,0	5—8	"	1,2—2,5	200—350	22—32	18—40	12—20	7—12	"	Д
5,0—14,0	5—10	$\text{Ar} + \text{O}_2$ (нормална полярност)	1,2—2,5	200—320	22—30	20—40	14—25	8—15	"	Д
5,0—14,0	4—10	$\text{CO}_2, \text{Ar} + \text{O}_2$	1,2—2,5	250—600	24—45	40—65	10—25	8—15	В ладийка	Д
2,0—5,0	2—4	CO_2	1,2—1,4	180—500	23—40	100—180	12—18	12—15	"	Д

* Приети означения: Д—долно, ВД—вертикално надолу, Т—таванно.

Заслужава внимание и методът за определяне на тока и напрежението на дъгата, представен в [13].

Заваръчният ток се изчислява по формулата:

$$I_3 = \frac{100K}{1,75 - 0,15d_E},$$

където

K – катетът на шва;

d_E – диаметър на електродния тел;

R_E – **эквивалент** на съпротивление на заваръчната верига;

$R_E = 0,04...0,06 \text{ Ом}$

Напрежението на дъгата намираме по формулата:

$$U_D = R_E \cdot I_3 + (26 - 10\sqrt{d_E})$$

След направения обзор на съображенията, определящи избора на режими на заваряване, нека се върнем към първоначалните три групи, на които разделихме подвъзлите, влизащи в заварения възел „Корпус”.

Както вече стана ясно в първата група ще влязат детайл поз.4 „Плоча” и заваряваните към него детайли позиции 1, 2, 3, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 23 и 24. Необходимите катети са 5, 6 и 8 мм, а дебелините на стените са 12-16 мм. В случая ще се ръководим от необходимия катет, като се възползваме от режимите в табл.2.5. Предвид това, че заваряваните дебелини са по-големи от посочените в таблицата и съответното увеличено топлоотдаване от зоната на заваряване, ще се ориентираме към по-големите стойности в интервалите на напрежението и тока.

Окончателно ще имаме:

$I_3=280-320\text{A}$; $U_D=26-30\text{В}$ (капкопренасяне с РКС); $d_E=1,2 \text{ мм}$; $v_3=20 \text{ м/ч}$; излаз на електрода 10-14 мм; разход на газ 12-15 л/мин; заваряване в хоризонтално положение с наклонен електрод.

Във втората група ще влязат подвъзелът, образуван от детайли позиции 6, 7 и 9 (дебелини 4-5 мм и катет 3 мм), както и заваряването им към базовия детайл (също с катет 3 мм).

Съгласно табл.2.5 определяме параметрите на режима на заваряване:

$I_3=160-200\text{A}$; $U_D=22-24\text{В}$ (капкопренасяне с РКС); $d_E=1,2 \text{ мм}$; $v_3=25 \text{ м/ч}$; излаз на електрода 10-14 мм; разход на газ 6-8 л/мин; заваряване в хоризонтално положение с наклонен електрод.

За третата група (детайл поз.4 и четирите заварени към него тръбни профила) е характерно, че се заваряват детайли със значителна разлика в дебелините. Поради това ще използваме режими с по-голяма линейна енергия от тази, необходима за по-малката дебелина в съединението, като е необходимо дъгата да се измести с около 1 мм по посока на по-дебелия детайл. С отчитане на посоченото, определяме режимите на заваряване:

$I_3=150-170\text{ A}$; $U_d=20-22\text{ В}$ (капкопренасяне с РКС); $d_E=1,2\text{ мм}$; $v_3=25\text{ м/ч}$; излаз на електрода 10-14 мм; разход на газ 6-7 л/мин; заваряване в долно положение с прав електрод.

Трябва да се отбележи, че получените режими преди заваряване се проверяват експериментално, съгласно стандартите за одобряване на процедури за заваряване.

2.7 Последователност на заваряване

При окрупняването на всеки заварен възел са възможни три принципни подхода.

Първият е методът на последователното окрупняване. При него монтажните и заваръчните операции протичат последователно, като окрупняването става чрез непрекъснатото прибавяне на всеки следващ детайл към преди това заварената конструкция (детайл). Този метод се прилага най-рядко и главно при прости изделия.

Вторият е методът на общото окрупняване. При него едновременно се сглобяват (събират) всички елементи на конструкцията и след това в определена последователност се заваряват помежду си. Предимството на метода е, че осигурява по-голяма точност на конструкцията, тъй като при едновременното монтиране на всички части (с приспособления) се увеличава коравината на изделието и заваръчните деформации и премествания са по-малки. Недостатък на метода е, че е намален достъпът до отделните шевове и с това се намаляват възможностите за механизизиране на заваръчните операции. Общото окрупняване е за предпочитане в единичното и дребносериеното производство.

Третият е методът на повъзловото окрупняване. По своята същност той е комбинация от предните два метода. При него се заваряват определени групировки от елементи (възли и подвъзли) посредством последователно окрупняване, след което се сглобяват и заваряват отделните възли. Това разчленяване на цялостния технологичен процес е целесъобразно от гледна точка на по-голямата достъпност до заварените съединения, по-добрите условия за механизация и автоматизация и пооперационен контрол на качеството на шевове и точността на конструкцията (евентуално и междинно изправяне). Затова методът е приложим в поточното производство (сериенно и масово). Недостатък на повъзловото окрупняване е намалената устойчивост на отделните възли, т.е. по-големите заваръчни деформации, което налага по-прецизен пооперационен контрол и вземане на съответни мерки. В практиката този метод е най-разпространен.

При определяне на последователността при сглобяването е важно да се има предвид следното:

- всяка операция на **глобяването** трябва да бъде предвидена и осъществена така, че да не пречи на осъществяването на следващите;

- размерите и подготовката на детайлите , подавани за сглобяване, трябва внимателно да бъдат проверявани – отговарят ли на чертежните и технологичните изисквания;
- допълнителните работи, съгласно технологичната последователност, да позволяват да се изпълняват лесно и бързо;

В конкретния случай заваряването по метода на общото окрупняване и по метода на последователното окрупняване са възможни, но нецелесъобразни, предвид големия брой детайли. Следователно най-целесъобразно е заваряване по метода на повъзловото окрупняване.

Като подвъзли са подходящи за заваряване детайли позиции 6, 7, 9, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 20 и 21. Те трябва да се групират по следния начин:

Подвъзел №1: детайли позиции 6, 7 , 9; Подвъзел №2: детайли позиции 8, 10; Подвъзел №3: детайли позиции 11, 12; Подвъзел №4: детайли позиции 13, 14; Подвъзел №5: детайли позиции 16, 17; Подвъзел №6: детайли позиции 20, 21.

След заваряването им, те трябва да се зачистят евентуално от метални пръски и натрупвания, които биха попречили на последващото им добро прилягане към базовия детайл поз.4 „Плоча”.

От гледна точка на получаването на минимални деформации е целесъобразно заваряването да започне със заваряването на тръбните профили позиции 5, 15, 18 и 22, които ще увеличат коравината на подвъзела. След тях се заваряват заварените вече подвъзли с номера от №1 до №5, както и детайли позиции 23 и 24, възелът се обръща и се заварява подвъзел №6. Следващи се заваряват ребрата позиции 2 и 3 и основата позиция 1 към базовия детайл „Плоча”. Най-накрая се заваряват детайли позиция 19 към почти готовия вече възел. Схемата на окрупняване е представена в графичната част на дипломната работа.

2.8 Термообработка

Целта на термичната обработка на заварените съединения е да се отстрани или намали неблагоприятно влияние на термдеформационния заваръчен цикъл. Това влияние се изразява, както в получаването на нееднородност в структурата, химическия състав и механичните свойства на метала в заваръчната зона, така и в нивото на остатъчните напрежения в съединенията. Степента на тази нееднородност и нивото на напреженията зависят от редица металургични, техноилогични и конструктивни фактори, като вида на основния и допълнителния материал, избраните технология и режим на заваряване, формата и размерите на избраното съединение и т.н.

Въпросът за необходимостта от допълнителна термообработка на заварените съединения и конструкции е сложен и в някои случаи противоречив. За редица материали с оглед осигуряване на определено структурно състояние и механични показатели след заваряването тя е абсолютно необходима. За други тя е необходима или желателна за снемане

на остатъчните напрежения с цел да се подобрят експлоатационните качества на конструкцията. От друга страна обаче, допълнителната термообработка увеличава значително производствените разходи и неоснователното и извършване може да доведе до рязко повишаване себестойността на конструкцията. За някои материали термообработката за снемане на напреженията може да изиграе отрицателна роля, създавайки условия за образуване на пукнатини. Трябва да се отбележи и обстоятелството, че всяка операция за снемане на напреженията в едно тяло води след себе си нарушаване на вътрешното равновесие на силите и оттам – до нарушаване размерите и формата му. Следователно след термообработката може да се наруши геометрията на завареното изделие и затова трябва да се предвидят съответни технологични компенсационни мероприятия.

В конкретния случай ще разгледаме по-подробно необходимостта от термична обработка в двата основни аспекта на предназначението и. Първият от тях е провеждането и с цел отстраняването на евентуално възникнали закалъчни структури и опасността от поява на студени пукнатини в легираната стомана. За тази цел ще направим оценка на скоростта на охлаждане в критичния температурен интервал и ще проверим дали тя е допустима. Вторият е провеждане на термообработка с оглед снемане на вътрешните напрежения.

Ще определим скоростта на охлаждане за съединението с най-голяма дебелина. Това са детайл позиция 4 ($s = 20$ мм) и детайл позиция 1 ($s = 16$ мм). За отбелязване е, че детайл позиция 16 „Планка” е дебелина 20 мм, която е по-голяма от разглеждания детайл, но тя е от СтЗсп, а също така е с малка ширина, следователно може да не се разглежда като граничен случай.

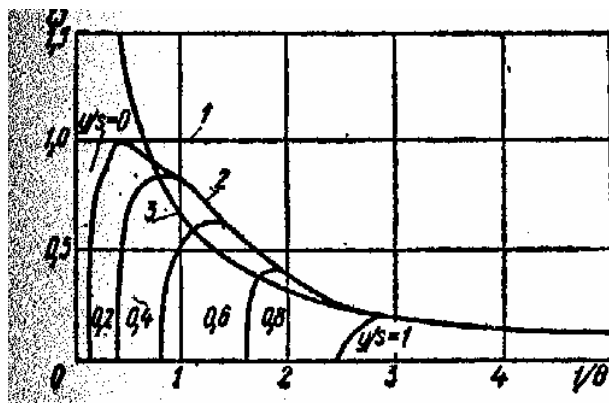
Теорията на разпространение на топлината при заваряване позволява да се пресметне скоростта на охлаждане и времето на престой в определен температурен интервал. Скоростта на охлаждане при челно заваряване за един преход на листове с дебелина e :

$$\omega_{\text{охл}} = \omega \cdot [2\pi\lambda(T_m - T_0)^2] / q_{\text{п}} \quad (1),$$

където $\omega_{\text{охл}}$ е моментната скорост на охлаждане при температура T_m , °C/c; λ - коефициент на топлопроводност, кал/см.с.°C; $c\gamma$ - обемна топлемкост, кал/см³.C; T_0 - начална температура на изделието, °C; $q_{\text{п}} = 0,24 I_{\text{СВ}} U_{\text{д}} \eta_{\text{и}} / v_{\text{СВ}}$ - линейна енергия на заваряване, кал/см; $\omega = [\omega_{\text{охл}} \cdot q_{\text{п}}] / 2\pi\lambda(T_m - T_0)^2$ – безразмерен критерий на процеса, който зависи от друг безразмерен критерий $1/\theta$:

$$1/\theta = 2q_{\text{п}} / [\pi S^2 c\gamma (T_m - T_0)] \quad (2)$$

След пресмятането на $1/\theta$ по (2) се определя ω по графиката, посочена на фиг.2.9:



Фиг.2.9 Графика за определяне на моментната скорост на охлаждане; 1 - полубезкрайно тяло; 2 – плосък слой; 3 – пластина; y/s – относителна дебелина на наварения слой про многослойно заваряване;

За по-пълното доближаване на разчетната схема към действителната картина на въвеждане на топлината в изделието при първия (в случая - единствен) слой е необходимо въвеждането на поправъчен коефициент за линейната енергия k_1 , отчитащ евентуално скосяване и форма на съединението и коефициент на приведената дебелина k_2 . В конкретния случай $k_1=0,67$ (Т-образно съединение) и $k_2=1$.

Линейната енергия на заваряване ще бъде:

$$q_{\text{л}} = 0,24 \cdot 320 \cdot 28 \cdot 0,8 \cdot 3600 / 20 \cdot 100 = 3100 \text{ кал/см}$$

$$q_{\text{л.прив}} = 0,67 \cdot 2900 = 2100 \text{ кал/см}$$

Пресмятаме:

$$1/\theta = 2 \cdot 2100 / 3,14 \cdot 20 \cdot 16 \cdot 1,085 \cdot (500 - 20) = 0,01$$

По графиката определяме $\omega = 0,1$. Скоростта на охлаждане ще бъде:

$$\omega_{\text{охл}} = 0,1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 634 (500 - 20)^2 / 2100 = 115^\circ\text{C/c}$$

Получената за това съединение скорост на охлаждане е близка до критичната за тези стомани температура (над 100°C/c). Този разчет показва необходимостта на термообработка за отвърщането на мартензита и намаляване на твърдостта на закалените участъци.

Нека се върнем към втория разглеждан аспект на термообработката, а именно необходимостта от снемане на напреженията. Във възела има голямо относително количество наварен метал, което поражда значителни собствени напрежения в него. В 2.1 отбелязахме, че след заваряването, възелът се подлага на значителна механообработка, която може да доведе до преразпределение на вътрешните сили, породено от освобождаването на потенциалната енергия на остатъчните заваръчни напрежения и като резултат

– получаване на нежелателни деформации. Това също показва необходимостта от термообработка.

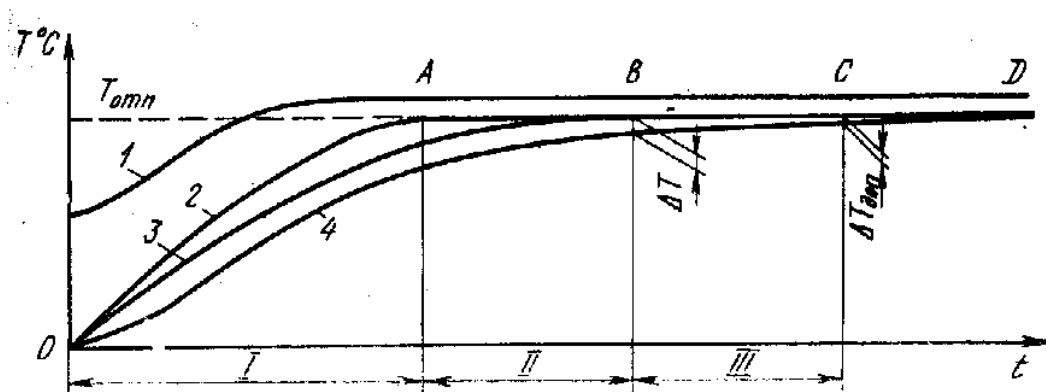
След като се убедихме в необходимостта от термична обработка, трябва да разгледаме особеностите на нейния режим. Основните параметри на режима са: скорост на нагряване; време на изравняване на температурата по сечението, която зависи от условията на нагряване, конфигурацията на изделиято и топлофизичеките свойства на метала; температура на отгряването; продължителност на отгряването и скорост на охлаждане. Ще разгледаме всеки етап поотделно.

Максималните скорости на нагряване зависят от мощността на пещта. Препоръчаните обикновено скорости на нагряване са такива, че възникващите в резултат на разликата в температурите по сечението напрежения и деформации да не се окажат опасни за якостта и точността на изделиято. С увеличаване дебелината на стената на възела или диаметъра му, скоростта на нагряване намалява. В някои източници времето на нагряване нараства линейно с увеличаване на дебелината. Препоръчва се времето за нагряване до 800°C да се приема 60-70 секунди на 1 мм дебелина за въглеродни стомани и 65-80 секунди за 1 мм за легирани. Посочените продължителности се увеличават като се умножават на коефициент $K_{расп}$, които зависи от разположението на детайлите в пещта. При заваряване, особено без подгряване, възникват значителни напрежения и пластични деформации, които обикновено не предизвикват разрушаване на метала. Затова ограничение в скоростите на нагряване има място само за заварените конструкции от слабопластични метали или такива с невисоко качество (например масивни отливки). Ограничаване на скоростта на нагряване е оправдано също и за конструкции с остри концентратори или технологични дефекти. В останалите случаи стремежът е към възможно най-големи скорости на нагряване.

Под продължителност на задържане в производствените инструкции се има предвид отрязъкът време от достигане на определена температура на точките по повърхността на детайла до началото на охлаждането. Времето за изравняване на температурат апо сечението по този начин се включва в общата продължителност на задържане. Общият принцип, залегнал в практически всички документи, е че продължителността на задържане трябва да е правопропорционална на дебелината или диаметра на детайла. Основният показател е време на 1 мм дебелина. Той варира в интервала 1 до 2,5 минути на 1 мм дебелина. Известни са четири основни фактора, от които се определя продължителността на задържане: равномерно прогряване по сечението, пълнота протичане на структурните превръщания и изменение на механичните свойства, пълнота на протичане на релаксационните процеси, възможно влошаване на свойствата при прекомерно задържане. Ясно е, че пълнотата на протичане на структурните превръщания при достигната температура не зависи от дебелината. Нарастването на продължителността на задържане при голяма дебелина може да бъде обосновано само с

необходимостта от прогряване по сечението и пълнотата на протичането на релаксационните процеси.

Ще разгледаме условията на прогряване (изравняването на температурите) в зависимост от режима на нагряване. Обикновено възлите от нисковъглеродни и нисколегирани стомани, ако няма специални други изисквания, се зареждат в пещта при температура 250-300°C. След това в зависимост от зададените скорости на нагряване, мощността на пещта, и масата на детайлите температурата на пещта се увеличава до температура, леко надвишаваща тази на отгряването. При това температурата на точките по повърхността се повишава различно. В общия случай (за масивни детайли) изравняването на температурите изглежда по начина, представен на фиг.2.10.



Фиг.2.10 Изменяне на температурата във времето при нагряване; I – нагряване; II – изравняване на температурата по повърхността на възела; III – същото по сечението; 1 – пещ, 2 и 3 – различни точки на повърхността на възела, 4 – точка в дълбочина;

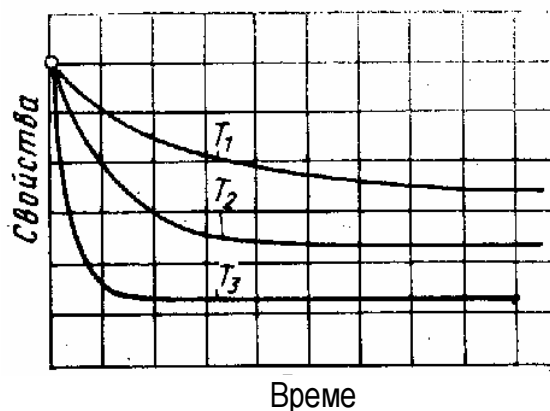
В нашия случай участъците АВ и особено ВС (виж табл. 2.6) са минимални и могат да се пренебрегнат в сравнение с общата продължителност на задържане.

Таблица 2.6 Продължителност на изравняване на температурата по сечението

δ , мм	До 400	400 до 600	600 до 700	700 до 800	800 до 900	900 до 1000
Време, часове	< 1	1	2	3	4	6

След изравняването на температурата по повърхността и по сечението, трябва да се разгледат условията за протичане на структурните превръщания и релаксацията. Структурните превръщания зависят от температурата и продължителността на нагряването. На фиг. 2.11 е показано как зависи изменението на свойствата в зависимост от продължителността на отгрева. Препоръчва се да се избира температура, при която кривата на свойствата преминава в хоризонтален участък. За високи температури на отгряване (300-

400°C и по-високи) задържането, гарантиращо преминаване в хоризонтален участък обикновено е 0,5 - 1 час. При отгряване при по-ниски температури (например при нисък отпуск, когато заварените детайли са били преди това термообработени) тези процеси приключват в рамките на 3 часа.



Фиг.2.11 Схематично изобразяване на изменението на свойствата в зависимост от времето; температура на отгряване $T_1 < T_2 < T_3$

Следващият фактор, определящ продължителността на термообработката, се явява пълнотата на протичане на релаксацията на напреженията от първи род. Тук има две страни на въпроса. Първата – релаксация в зависимост от температурата и свойствата на метала; втората – релаксация на напреженията във връзка с обемния характер на тяхното разпределение. По-горе беше показано, че след 2-3 часа задържане процесът на намаляване на напреженията значително се забавя и по-нататъшното увеличаване на задържането не води до осезаеми резултати. Ако са необходими по-ниски остатъчни напрежения, то това може да се постигне с по-макко средства чрез увеличаване на температурата.

Температурата се оказва решаващият фактор за достигането на желаното ниво на напреженията. Тя трябва да се установява във всеки конкретен случай на базата на изпитания на релаксация в зависимост от марката на метала и допустимите остатъчни напрежения. Обикновено при избора на температура, гарантираща значително снемане на напреженията, се приема интервалът 580-680°C.

Определянето на допустимото ниво на остатъчните напрежения представлява достатъчно неопределна задача. Ако целта е да не се допускат пластични деформации при натоварване, то отговорът е очевиден:

$$\sigma_{\text{доп}} = \sigma_t - \sigma_{\text{РАБ}},$$

където $\sigma_{\text{РАБ}}$ – максималните напрежения, възникващи при работа на конструкцията; обикновено са близо до границата на провлачване.

Ако целта е да не се допуснат деформации при последващата механообработка, то във всеки конкретен случай нивото на допустимите собствени напрежения ще зависи от коравината на възела, разпределението на напреженията, количеството обработен метал и допустимите деформации при механообработката. В такива случаи определянето на $\sigma_{\text{доп}}$ предствалва

нелека задача. Във връзка с изложеното за повечето конструкции практически е оправдано 3 часово задържане, след което намаляването на напреженията става твърде бавно.

Скоростта на охлаждането влияе на големината на образуващата се разлика в температурите по сечението на детайлите, а следователно, и на големината на собствените временни напрежения. При високи температури (обикновено по-големи от 400-450°C) възникващите напрежения могат да предизвикат пластична деформация заради ниската граница на провлачване. Тогава след пълното изстиване на детайла могат да възникнат собствени остатъчни напрежения, предизвикани от високата скорост на охлаждане. Ако разликата в температурите по сечението възникне при температури по-ниски от 400-450°C, то това би довело предимно до появяването на временни собствени напрежения, които ще изчезнат след пълното охлаждане. Разбира се може да има и случаи, в които временните напрежения са толкова високи, че са способни да предизвикат пластична деформация и при висока граница на провлачване. Скоростта на охлаждане може да бъде от значение от гледна точка на възникващата крехкост от първи и втори род. Разглежданите стомани Ст3 и 15ХСНД не са склонни към тези два вида крехкости (с изключение на отвърсяване при 300°C, характерно за всички стомани), което не налага ограничения в скоростта на охлаждане.

С оглед казаното до тук, можем да се спрем на конкретен режим на термообработка на възела: Загряване със скорост 40-50 °C/ч, температура 650-680 °C, време на задържане 90 мин; охлаждане със скорост 50-60 °C/ч до 350°C, след това – на спокоен въздух или с пещта.

2.9 Процедури

Ще съставим заваръчни процедури за операциите по заваряването на възел „Корпус”. Поради големия брой заваръчни съединения ще обединим, в рамките на допустимото, някои от процедурите. Процедурите ще приложим в последователност, съответстваща на последователността на заваряване на детайлите и подвъзлите. В първата процедура ще разгледаме подвъзлите, съставени съответно от детайли 8 и 10, 11 и 12, 13 и 14, 16 и 17; във втората – детайл 6 към детайл 9; в третата – детайл 7 към детайл 9; в четвъртата – детайл 20 към детайл 21; в петата – детайли 5, 15, 18 и 22 към детайл 4; в шестата – подвъзли от №1 до №5, детайли 23 и 24 към детайл 4; в седмата възел №6 към детайл 4; в осмата – детайли 2 и 3 към детайли 1 и 4; в деветата детайли 19 към детайл 1; в десетата – детайл 1 към детайл 4.

ПРОЦЕДУРА 1

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 16 135 PA-1

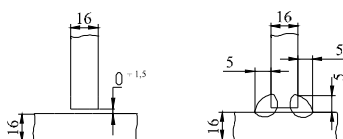
WPAR Nr.: 001

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
ВСтЗсп

Забележки относно последователността на заваряване: S1:16
Заваряване на четирите запълващи слоя S2:16

Дължина на шева(мм): 140(4 x 35)

Подготовка на междината: Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на тепоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	26-30	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	12-15

Температура на подгряване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис.....

Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 2

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

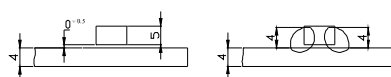
WPAR Nr.: 002

Забележки относно последователността на заваряване:
Заваряване на двата запълващи слоя

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
ВСтЗсп

Дължина на шева(мм): 150 (2 x 75)

Подготовка на междината: шев с препокриване



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на тепоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	160-200	22-24	=, (-)	25	240	1,2 Зв-08Г2С	6-8

Температура на подгриване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135 P BW W02 wm t4 PA ss pb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис.....

Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 3

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 4 135 PA-1

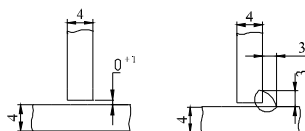
WPAR Nr.: 003

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
ВСтЗсп

Забележки относно последователността на заваряване: S1:4
Заваряване на запълващия слой S2:4

Дължина на шева(мм): 150(2 x 75)

Подготовка на междината: Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не
Качество на шева според EN 5817 :
Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично
Тип на производството : дребносерийно
Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на тепоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	160-200	22-24	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	6-8

Температура на подгряване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис..... Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 4

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 16 135 PA-1

WPAR Nr.: 004

Забележки относно последователността на заваряване:

Заваряване на двата запълващи слоя

Изпитваща служба: няма

Подготовка: механична

Основен метал 1: Стомана
15XCHD

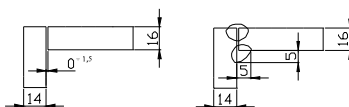
Основен метал 2: Стомана
15XCHD

S1:16

S2:14

Дължина на шева(мм): 320(2 x 160)

Подготовка на междината: ъглов шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на теплоснабдяване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	26-30	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	12-15

Температура на подгряване, °C: не

Температура на междинните слоеве, °C: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис.....

Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 5

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

WPAR Nr.: 005

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
15XCHD
Основен метал 2: Стомана
Ст10

Забележки относно последователността на заваряване:

S1:20

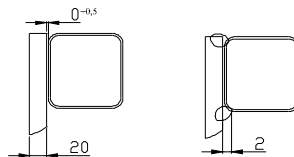
Заваряване на запълващия слой;

S2:2

Измества дъгата с 1мм по посока на по-дебелия детайл;

Дължина на
шева(мм): 800
(общо за четирите профила)

Подготовка на междината: челен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на теплоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	150-170	20-22	=, (-)	25	240	1,2 Зв- 08Г2С	6-7

Температура на подгряване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135 P BW W02 wm t2 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис.....

Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 6

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

WPAR Nr.: 006

Забележки относно последователността на заваряване:
Заваряване на запълващите слоеве;

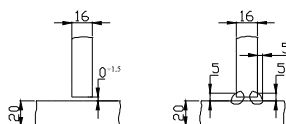
Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
15XCHД
Основен метал 2: Стомана
ВСтЗсп

S1:20

S2:16

Дължина на шева(мм): 3000

Подготовка на междината: Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на теплосподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	26-30	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	12-15

Температура на подгряване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис.....

Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 7

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

WPAR Nr.: 007

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
15ХСНД

Забележки относно последователността на заваряване:

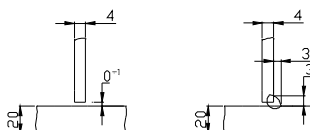
Заваряване на двата запълващи слоя

S1:4

S2:20

Дължина на шева(мм): 150 (2 x 75)

Подготовка на междината: едностранен Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на теплосподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	160-200	22-24	=, (-)	25	240	1,2 Зв-08Г2С	6-8

Температура на подгряване, °C: не

Температура на междинните слоеве, °C: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t4 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис..... Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 8

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

WPAR Nr.: 008

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
15ХСНД

Забележки относно последователността на заваряване:

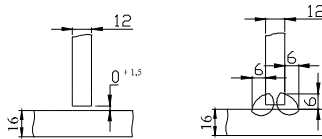
S1:12

Заваряване на четирите запълващи слоя

S2:16

Дължина на шева(мм): 3000(4 x 750)

Подготовка на междината: Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на тепоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	26-30	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	12-15

Температура на подгряване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис..... Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 9

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

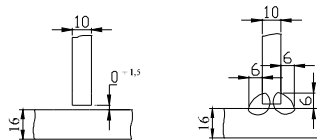
WPAR Nr.: 009

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
15ХСНД

Забележки относно последователността на заваряване: S1:10
Заваряване на четирите запълващи слоя S2:16

Дължина на шева(мм): 240(4 x 60)

Подготовка на междината: Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не
Качество на шева според EN 5817 :
Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично
Тип на производството : дребносерийно
Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на тепоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	26-30	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	12-15

Температура на подгриване, °C: не

Температура на междинните слоеве, °C: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис..... Име, дата, подпис.....

ПРОЦЕДУРА 10

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 135 PA-1

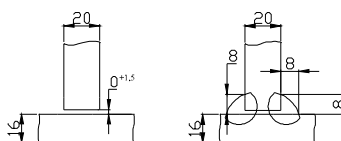
WPAR Nr.: 010

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
15XCHД
Основен метал 2: Стомана
15XCHД

Забележки относно последователността на заваряване: S1:20
Заваряване на двата запълващи слоя S2:16

Дължина на шева(мм): 480 (4 x 120)

Подготовка на междината: едностранен Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не

Качество на шева според EN 5817 :

Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично

Тип на производството : дребносерийно

Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на тепоподаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ количество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	28-32	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	10-14

Температура на подгриване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: отгряване
отвърщане

Загряване, °С/ч: 40-50

Температура, °С: 650-680

Време на задържане, мин: 90

Охлаждане, °С/ч: 50-60 до 300°; след това – на спокоен въздух

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135 P BW W02 wm t16 PA ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител

Изпитващо лице или служба

Име, дата, подпис..... Име, дата, подпис.....

2.10 Изводи

Както във всяко производство, така и в заваръчното, целта е оптимизиране на технологията чрез повишаване на производителността, намаляване на себестойността и т.н. Ако приложим това правило за заваръчния възел „Корпус“, можем да направим следните подобрения. Съществува възможност за отпадане на термообработката след заваряване по отношение и на двата фактора, които я налагат. Първият, касаещ достигането на критичната скорост на охлаждане, фактор може да стане неопределящ ако се покаже, че количеството на мартензитната фаза е в границите на допустимото (за някои стомани до 20-30%). Вторият фактор, касаещ получаването на деформации в процеса на последващата механообработка, може да отпадне ако се покаже, че изделието има достатъчна коравина, която да не му позволи да се деформира повече от допустимото. И двете положения следва да се проверят експериментално, преди решението за отпадане на термообработката да стане окончателно.

Друг начин за повишаване производителността на заваряването е въвеждането на роботизираното заваряване. Както вече споменахме, възелът е подходящ за този метод на заваряване, но трябва да се има предвид годишната програма, която да направи икономически целесъобразно въвеждането му в случая. Както знаем за специализираните заваръчни автоматични машини се приема, че минималният брой обработвани изделия трябва да бъде между 20 и 40 хиляди бр./годишно при време на заваряване до 2 минути или дължината на шевове от 2000 до 5000 метра в година. При 500 броя годишно, както е в случая, възможността за този метод става съвсем реална.

Трябва да се отбележи и фактът, че последователността на заваряване (тръбните профили позиции 5, 15, 18 и 22 се заваряват първи, след което се заваряват подвъзли с номера от №1 до №5), явяваща се противоположна на разгледаната в дипломната работа, е показала, че не се получават деформации, нарушаващи технологията на изработване и експлоатационната пригодност на възела.

3. Заключение

Заварените конструкции имат и ще продължават да имат огромно приложение в съвременната техника. По някои прогнози стоманите ще продължават да представляват основен конструктивен материал в близките поне още 50-70 години, което в много случаи води след себе си

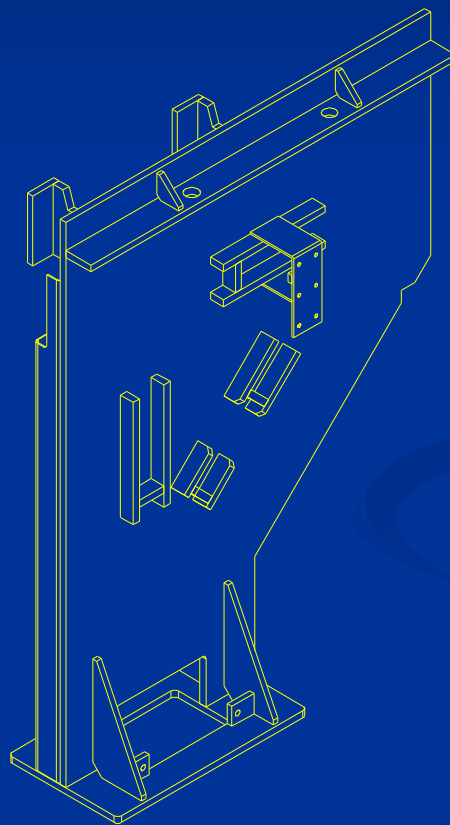
необходимостта от заваряване. Интересно е да се отбележи, че заваряването или спояването се разпространяват и върху много неметални материали (пластмаси, керамика и др.). Но така или иначе заваряването ще остане една интересна област от човешкото познание и ще продължава да привлича нови любители и изследователи.

Литература

1. „Технология электрической сварки плавлением” под ред. Сорока М.С., Москва 1962г.
2. „Справочник по сварке” т.4 под ред. И.А. Акулова, Москва 1971г.
3. „Металловедение сварки и термическая обработка соединений”. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н., Москва 1989г.
4. „Электрошлаковая сварка с регулированием термических циклов”. Хакимов А.Н., Москва 1984г.
5. Акулов А.И., Белчук Г.А., Демянцевич В.П. „Технология и оборудование сварки плавлением”, Москва. „Машиностроение”, 1977г.
6. „Заварени конструкции” т.1 Технологичност Желев А., София 1988
7. „Справочник по заваряване” т.2 под ред. на Калев Л., София 1982
8. „Техника и технология на заваряването” Лолов Н.В., София 1998
9. „Технология на электродъгното заваряване” Ташков Т.Т., Вътев Е.В., Стефанов В.С., София 1969
10. „Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей” Грабин В.Ф., А.В. Денисенко, „Наукова думка” 1978г.
11. „Заваряване в защитна газова среда” Ташков Т.И., Янков А.И., Бакърджиев В.Д., „Техника” София, 1984г.
12. „Сварка в углекислом газе” Потапьевский А.Г. – М.: „Машиностроение”, 1984. – 80 с., ил.
13. Списание „Сварочное производство”
14. „Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений” , Винокуров В.А, „Машиностроение”, Москва, 1973г.
15. „Электродуговая сварка сталей” – Справочник, Каховский Н.И., Фартушный В.Г., Ющенко К.А., „Наукова думка”, Киев 1975г.
16. „Технология электрической сварки плавлением”, Думов С.И., „Машиностроение”, Ленинград 1978г.
17. „Основы технологии сварки плавлением” Гурд Л.М. „Машиностроение”, Москва, 1985г.

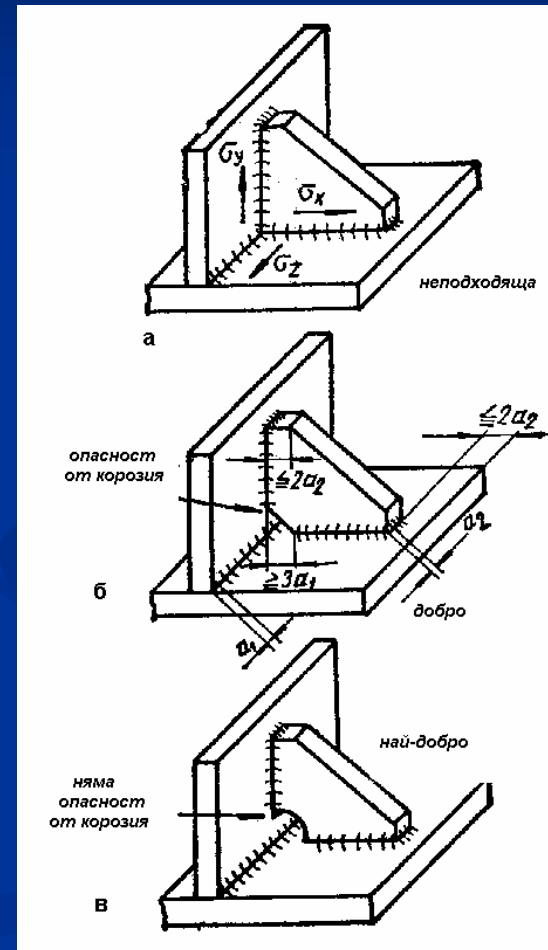
Технология за заваряване на “КОРПУС”

Общ вид на възел “Корпус”



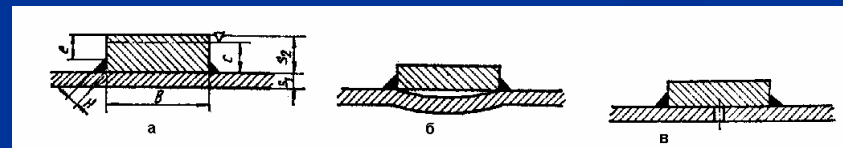
Начини за оребряване на Т-образно съединение:

- Неподходящо
- Добро
- Най-добро



Увеличаване коравината на конструкцията чрез планки:

- С прибавка за механична обработка
- Прекалено голяма междина между повърхностите
- С отвор в по-тънкия детайл за отвеждане на въздуха



Методи за заваряване на машинни конструкции

- Ръчно електродъгово заваряване с обмазан електрод



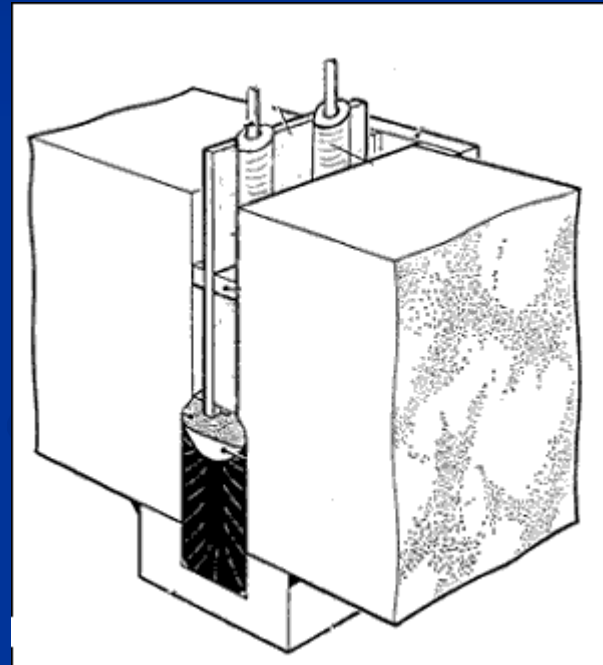
Методи за заваряване на машинни конструкции

- Подфлюсово заваряване



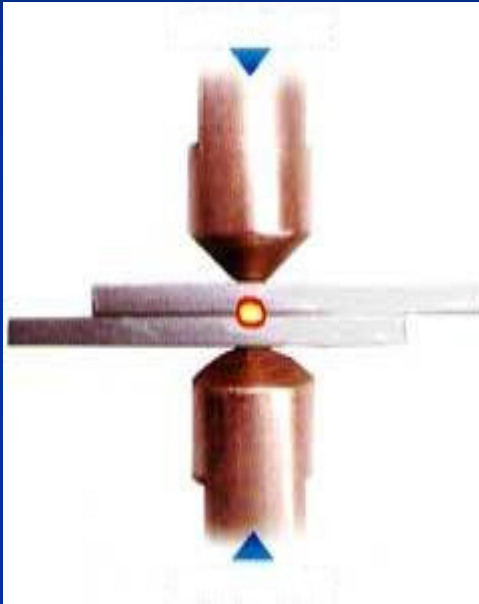
Методи за заваряване на машинни конструкции

- Електрошлаково заваряване



Методи за заваряване на машинни конструкции

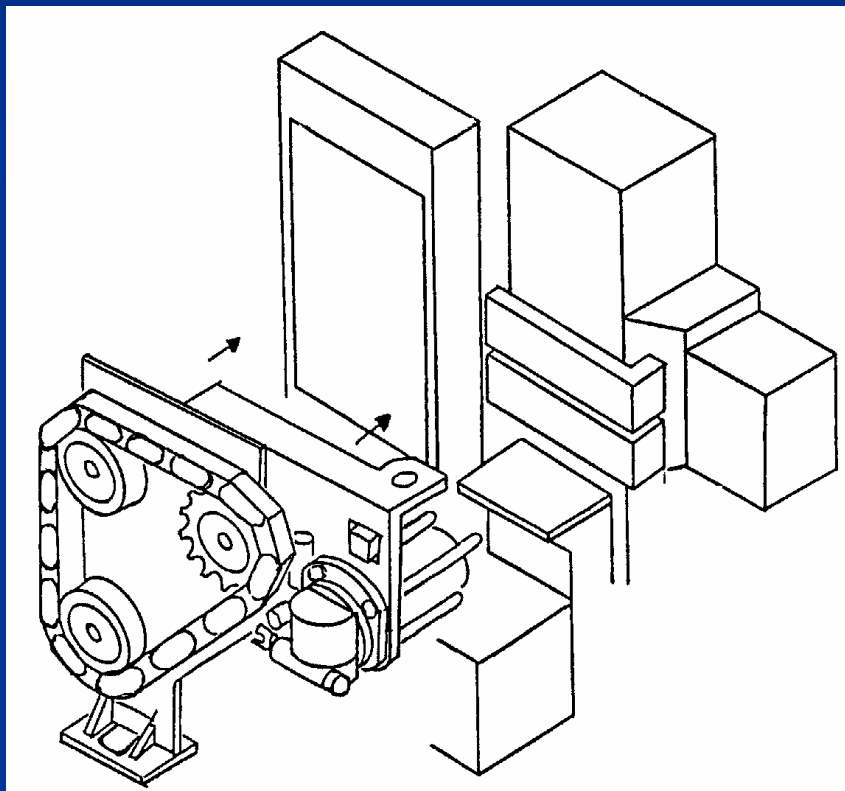
- Електросъпротивително заваряване



Структури на СтЗ в зоната на прегриване в зависимост от метода на заваряване

- Електроннолъчево
заваряване
- Подфлюсово
заваряване
- Електрошлаково
заваряване

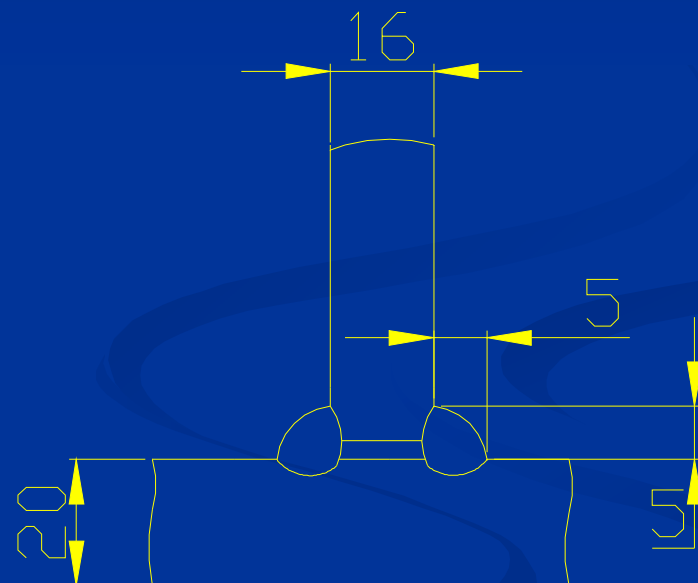
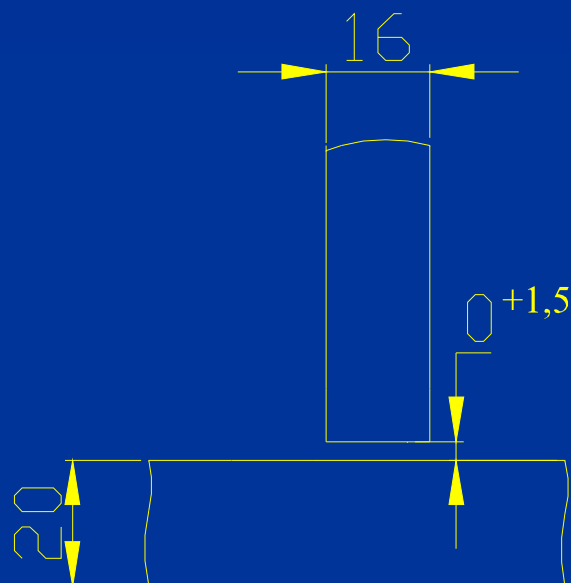




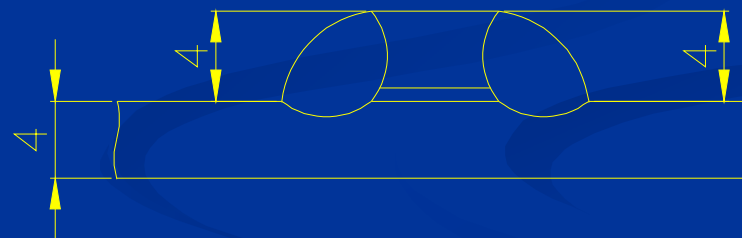
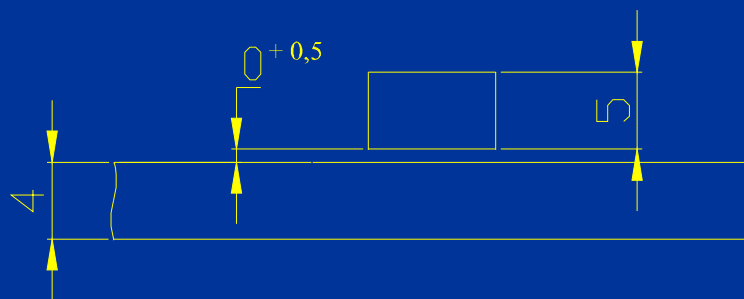
- Место на възел
“Корпус” в общата
схема на машината

Монтажен чертеж

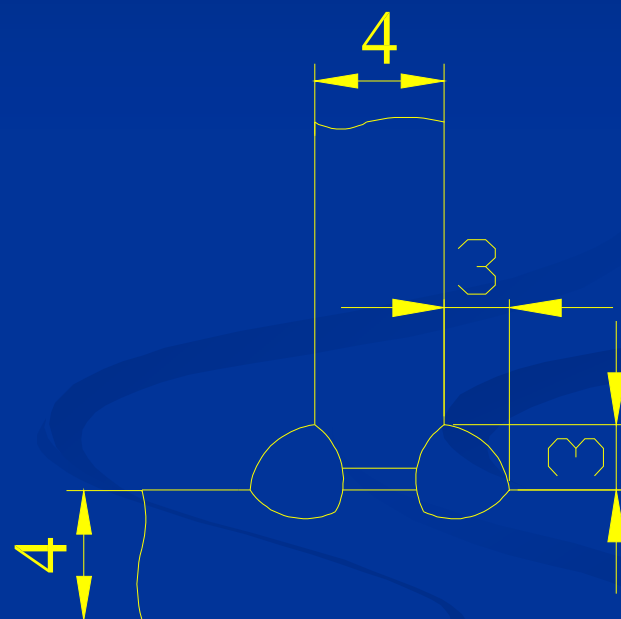
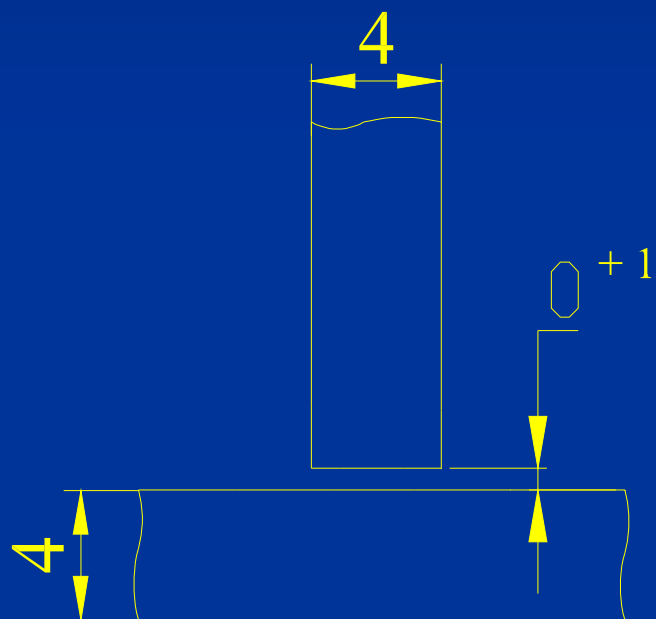
Съединение 1



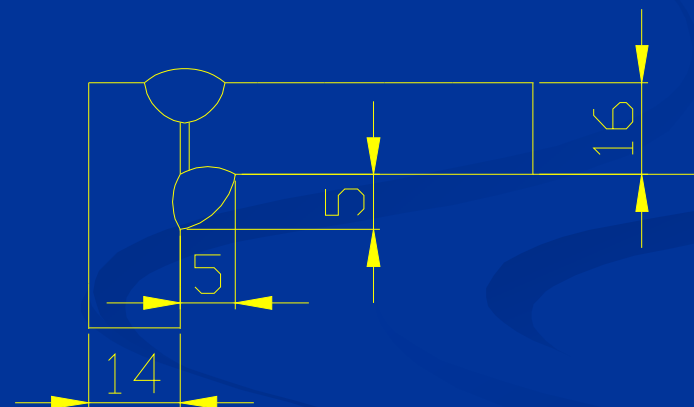
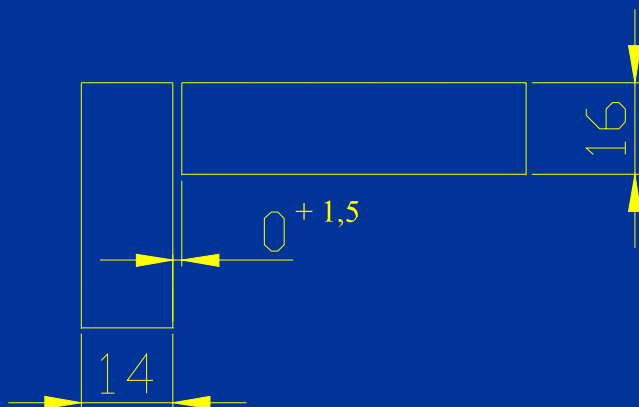
Съединение 2



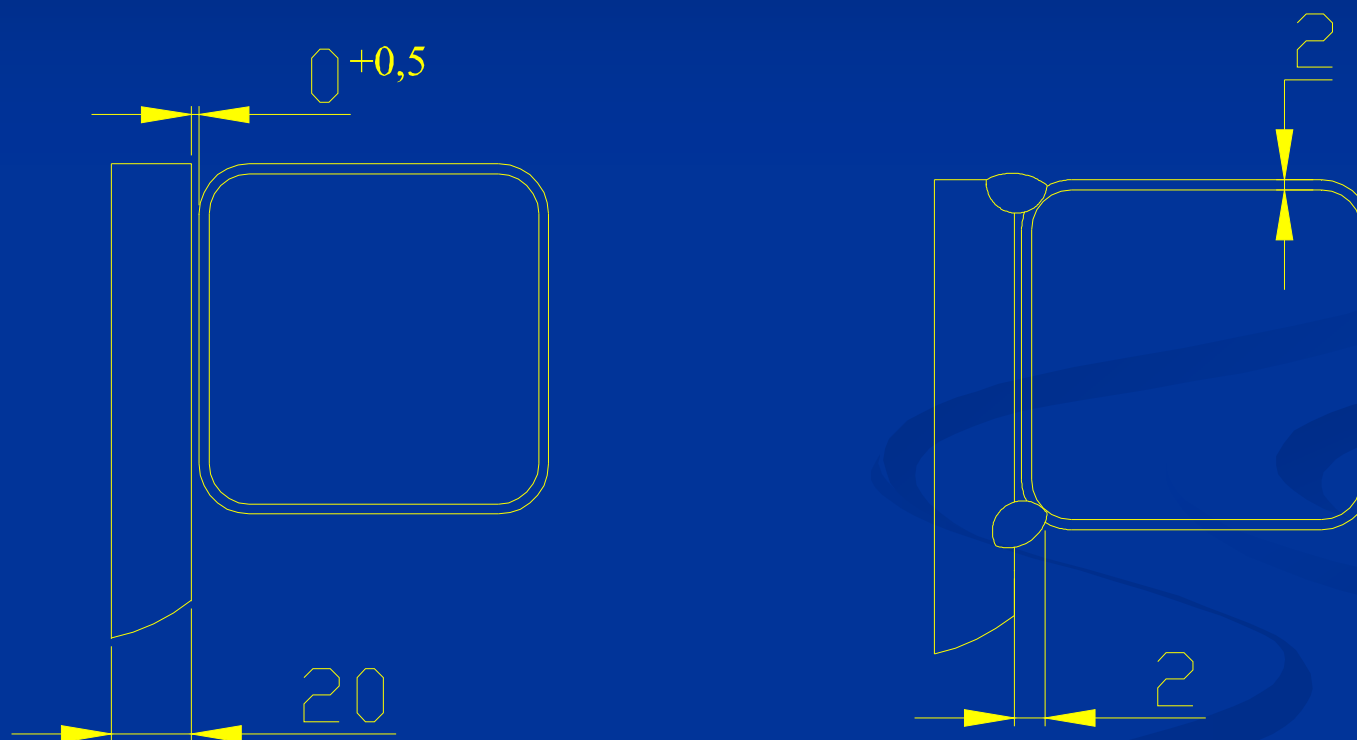
Съединение 3



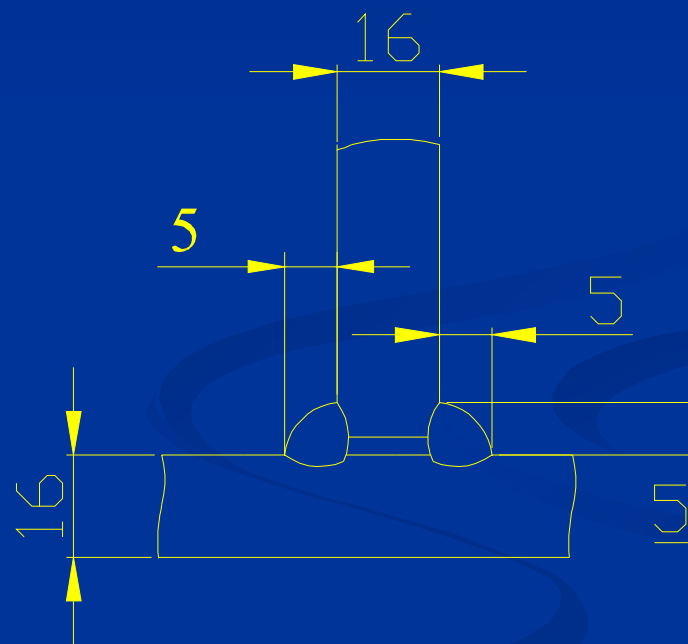
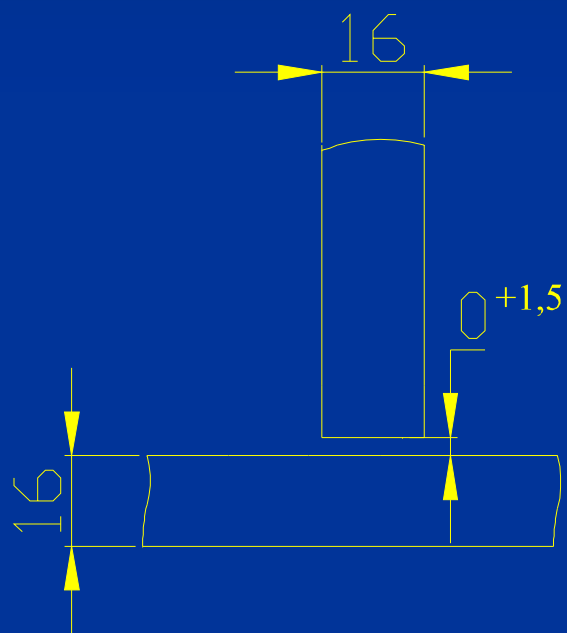
Съединение 4



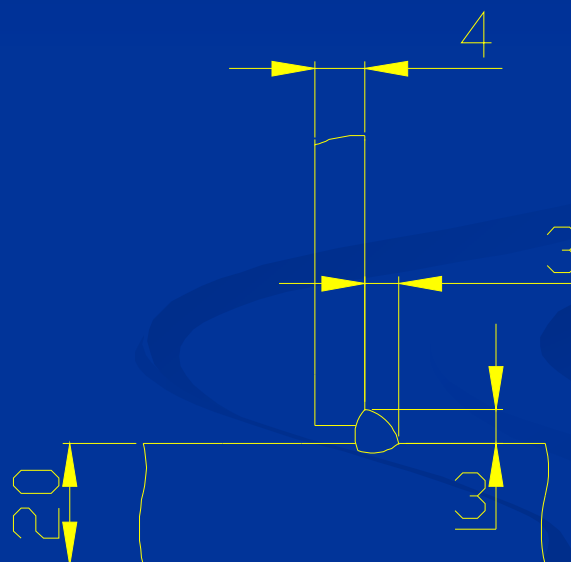
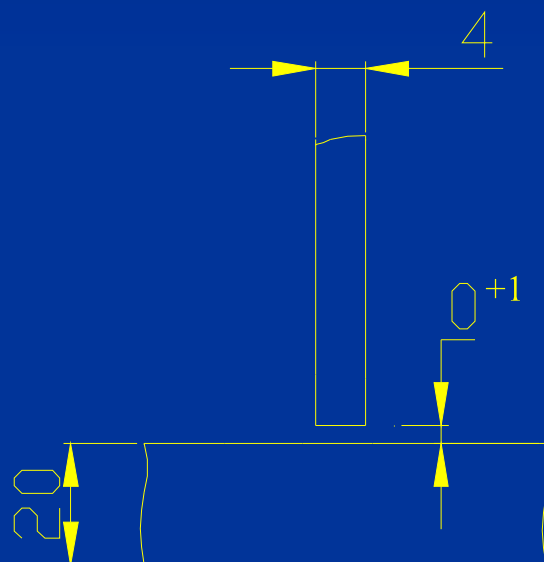
Съединение 5



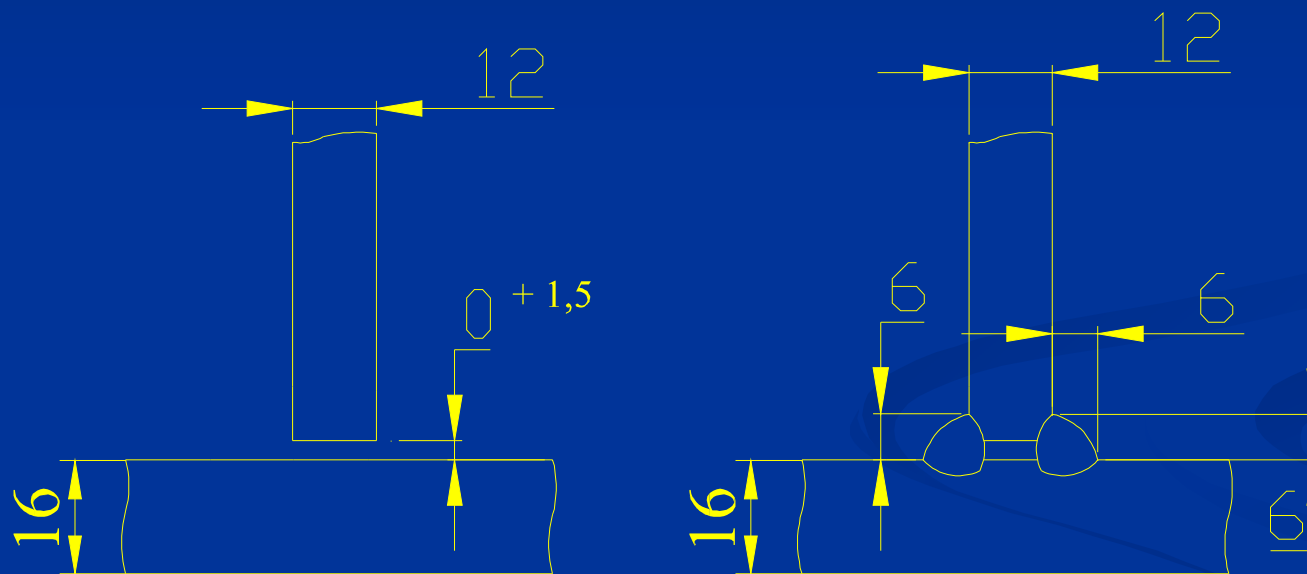
Съединение 6



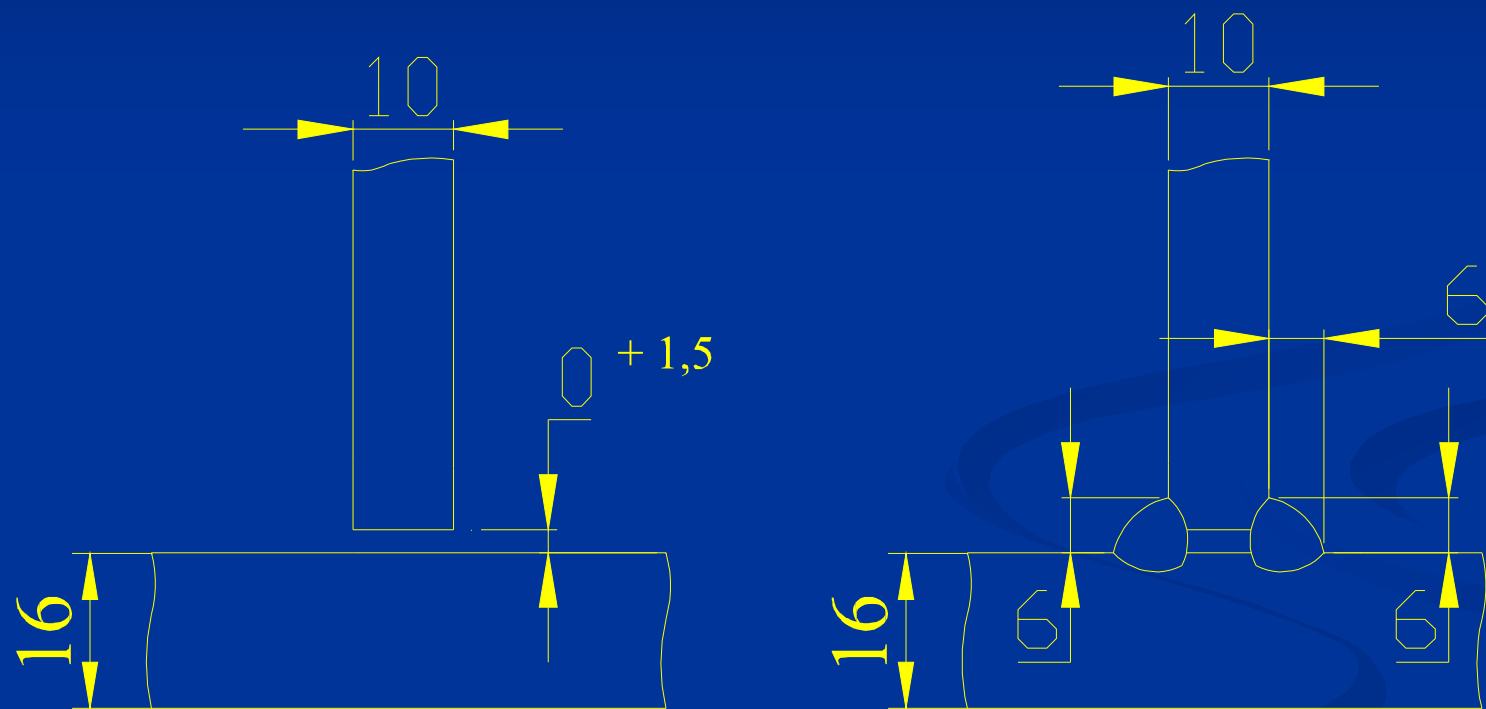
Съединение 7



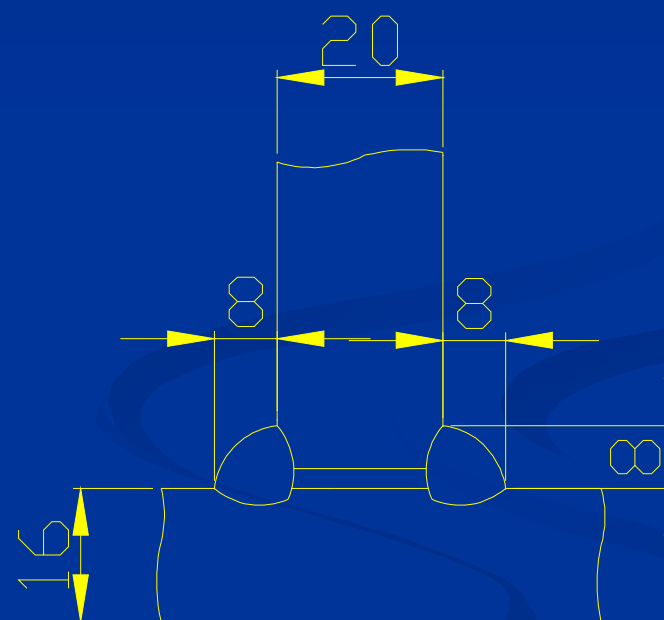
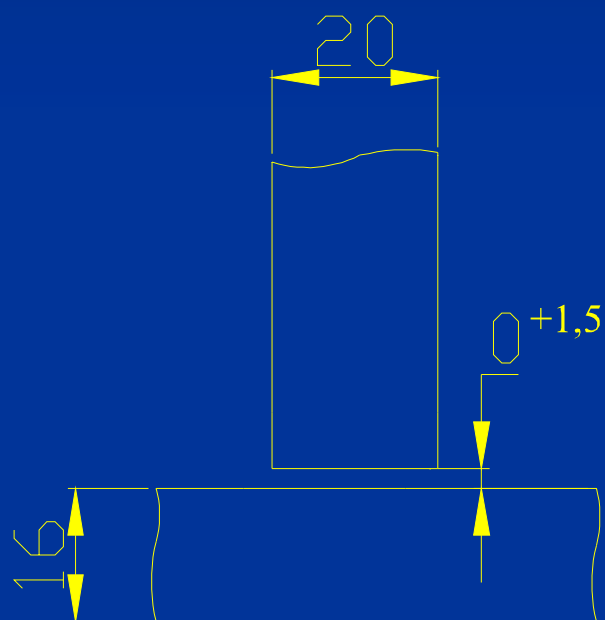
Съединение 8



Съединение 9



Съединение 10



Приложими за конструкцията методи за заваряване

- Ръчно електродъгово заваряване с обмазан електрод



Приложими за конструкцията методи за заваряване

- Ръчно ВИГ-заваряване



Приложими за конструкцията методи за заваряване

- Полумеханизирано
МИГ/МАГ заваряване



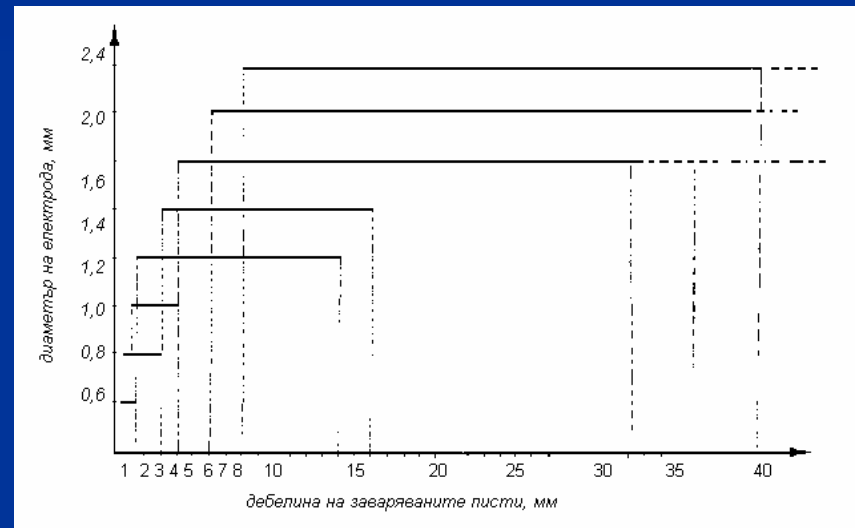
Приложими за конструкцията методи за заваряване

- Плазмено заваряване



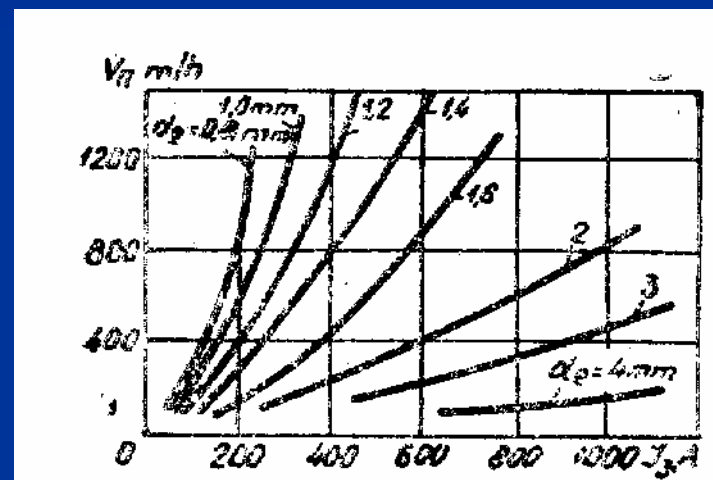
Графика

- Обхват на диаметрите на заваръчните телове в зависимост от дебелината на заваряваните детайли



Графика

- Зависимост на скоростта на подаване на заваръчния тел от големината на тока (за съответния диаметър)



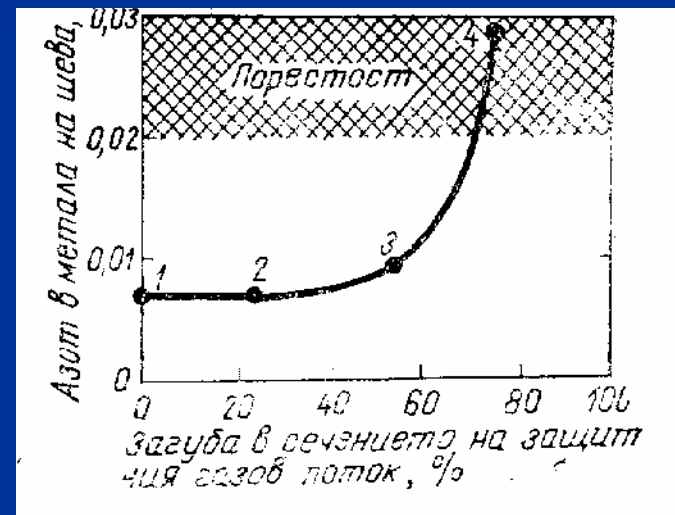
Таблица

- Таблица за вида на капкопренасянето в зависимост от обхватите на напрежението и съответните оптимални заваръчни токове

вид на капкопренасянето	напрежение на дъгата, V	диаметър на електрода, mm			
		0,8	1,2	1,6	2,4
с къси съединения [чести]	16-22	60-160A  малък пробар за тънки материали	100-175A  добро резултат не на пробаряване на корено и слаба дъга	120-180A  добро резултат не на пробаряване на корено и слаба дъга	150-200A  обикновено не се използва в практиката
нормално [с къси съединения - редки]	24-28	150-250A  автоматично заваряване на въглови шевове	200-300A  автоматично заваряване на хоризонтално-вертикални шевове	250-350A  автоматично заваряване на хоризонтално-вертикални шевове	300-400A  обикновено не се използва в практиката
без къси съединения	30-45	150-250A  добро пробаряване с 200A	200-350A  многократно автоматично заваряване	300-500A  добро пробаряване в долно положение	500-750A  добро пробаряване в долно положение

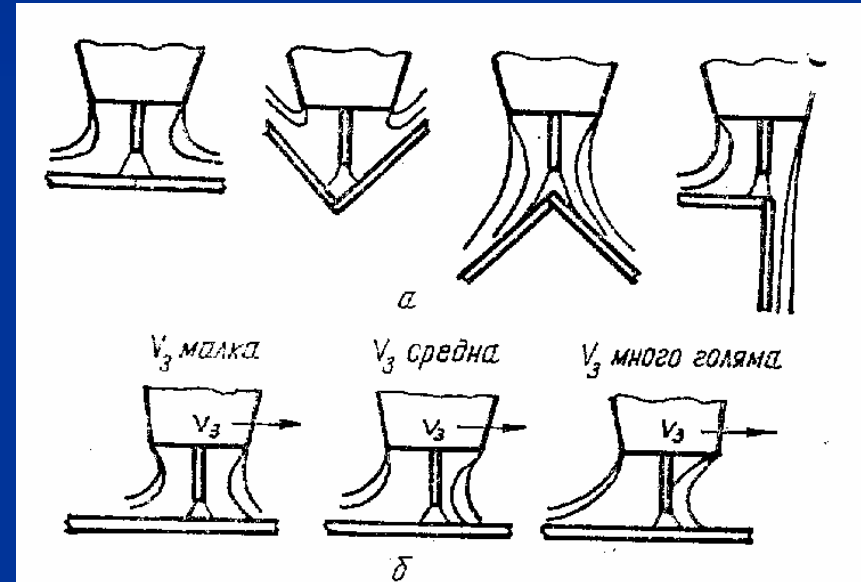
Графика

- Зависимост на количеството азот в метала на шева от относителната загуба на сечение на газовата дюза от пръски



Схеми

- Зависимост на газовата защита от вида на завареното съединение
- Зависимост на газовата защита от скоростта на заваряване



Маршрутно-технологична карта

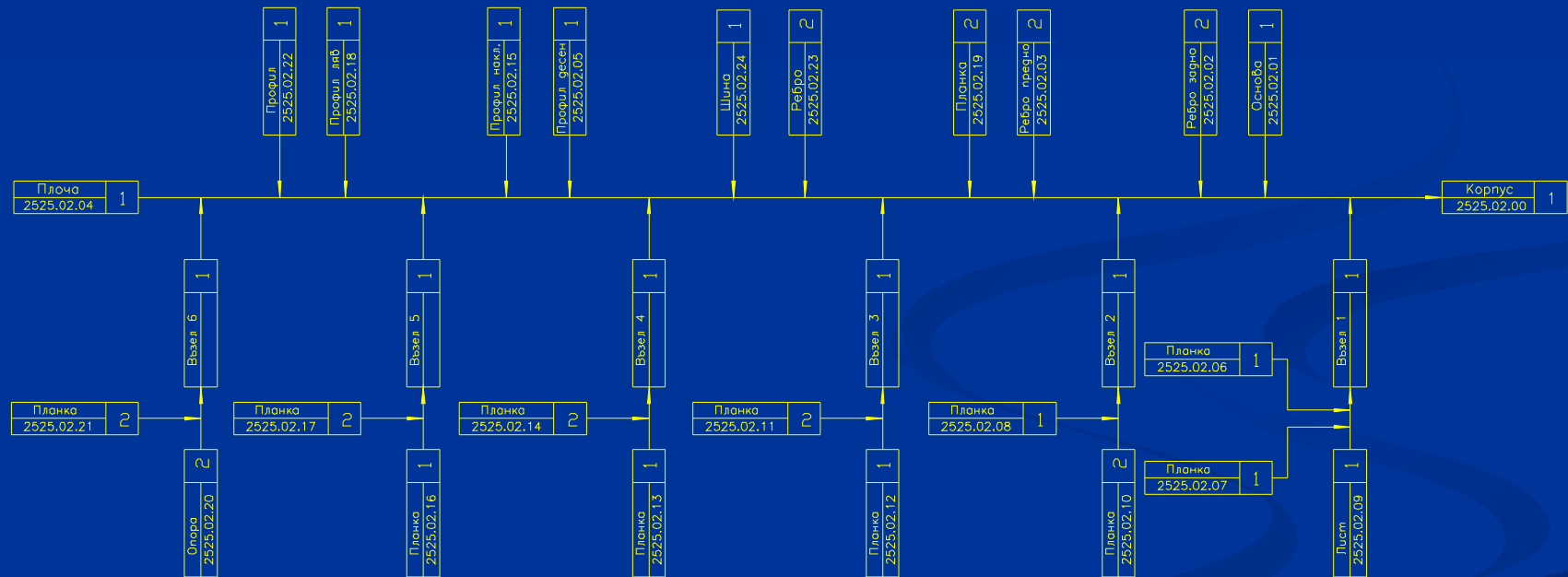
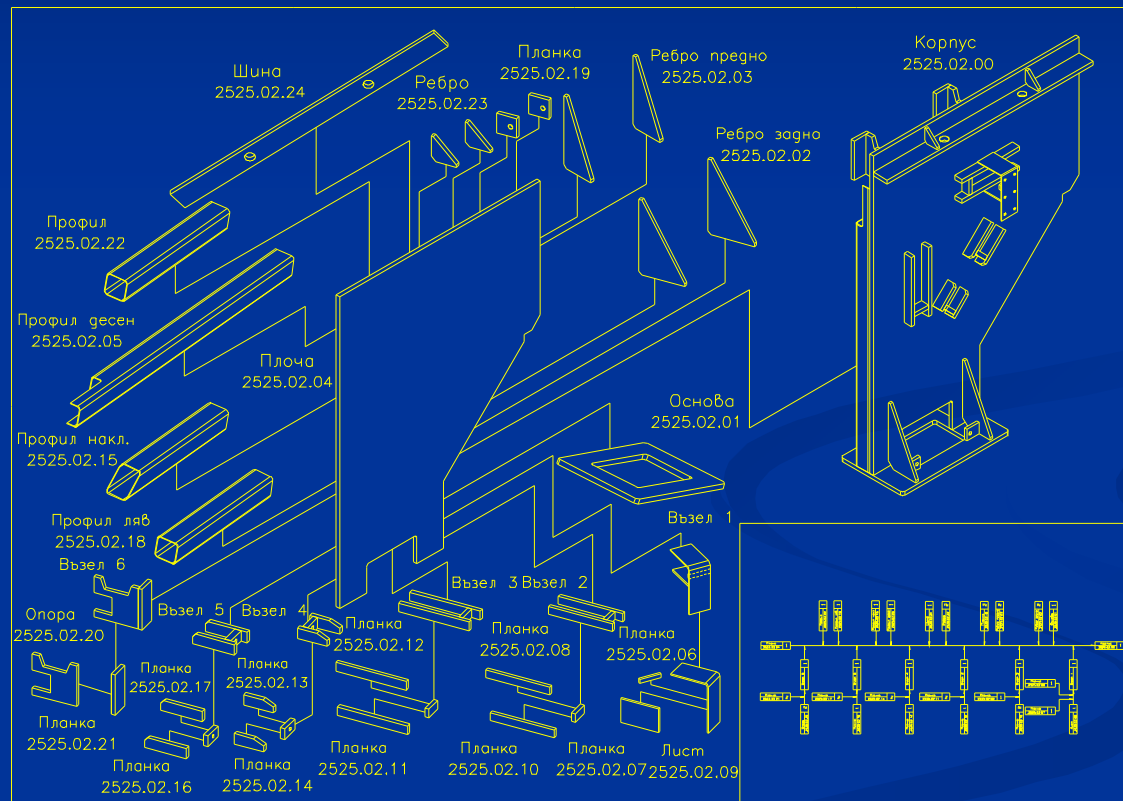


Схема на окрупняване



Процедура за заваряване №1

ПРОЦЕДУРА 1

Място : Казанлък
Производител: Арсенал
WPS Nr.: 16 135 PB-1

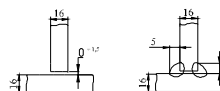
WPAR Nr.: 001

Забележки относно последователността на заваряване:
Заваряване на четирите запълващи слоя

Изпитваща служба: няма
Подготовка: механична
Основен метал 1: Стомана
ВСтЗсп
Основен метал 2: Стомана
ВСтЗсп

Дължина на шева(мм): 140(4 x 35)

Подготовка на междината: Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не
Качество на шева според EN 5817 :
Оценъчно ниво D

Натоварване: повторно-статично
Тип на производството : дребносерийно
Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Поток	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, мм/ч	Скорост на отстъпване, мм/ч	Добавъчен метал	Заределен коэффициент, г/мм
заваръчен	MAГ 135	РА	1,2	200-320	26-30	~, (-)	20	240	1,2 Zn- 0,08%С	12-15

Температура на подгряване, °С: не

Температура на междинните слоеве, °С: не

Допълнителна термична обработка: не

Проведен изпит на заварчик:

Запълващ слой : EN287-1 135P BW W02 w m t16 PB ss nb

Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

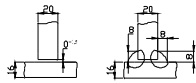
Производител

Изпитващо лице или служба

Процедура за заваряване №10

ПРОЦЕДУРА 10
 Место : Казанлък
 Изпитваща служба: няма
 Производител: Арсенал
 Подготовка: механична
 WPS Nr.: 135 PA-1
 Основен метал 1: Стомана 15XCHД
 WPAR Nr.: 010
 Основен метал 2: Стомана 15XCHД

Забележки относно последователността на заваряване: S1:20
 Заваряване на двата запълващи слоя S2:16
 Дължина на шева(мм): 480 (4 x 120)
 Подготовка на междината: едностранен Т-образен шев



Осигуряване на заваръчната вана: не
 Качество на шева според EN 5817 :
 Оценъчно ниво D
 Натоварване: повторно-статично
 Тип на производството : дребносерийно
 Област на приложение: машинна конструкция

Подробности за заваряването

Заваръчен слой	Процес	Позиция	Диаметър, мм	Заваръчен ток, А	Напрежение, В	Вид на тока и полярност	Скорост на заваряване, м/ч	Скорост на телоподдаване, м/ч	Добавъчен метал	Защитен газ колличество, л/мин
запълващ	МАГ 135	РА	1,2	280-320	28-32	=, (-)	20	240	1,2 Зв-08Г2С	10-14

Температура на подгряване, °C: не

Температура на междинните слоеве, °C: не

Допълнителна термична обработка: отгряване
 отгряване
 Загряване, °C/ч: 40-50
 Температура, °C: 650-680
 Време на задържане, мин: 90
 Охлаждане, °C/ч: 50-60 до 300°; след това – на спокоен въздух

Проведен изпит на заварчик:
 Запълващ слой : EN287-1 135 P BW W02 w m t16 PB ss nb
 Указания: допълнителната термообработка се извършва на цялото изделие

Производител Изпитващо лице или служба